LA

LOCOMOTORA

SIN HOGAR.

ESTUDIO COMPARATIVO
DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE LOCOMOTORA PROPUESTOS PARA
LA TRACCION
DE LOS FERROCARRILES VECINALES Y TRANVÍAS,

escrito en francés

POR

M. LEON FRANCQ

INGENIERO CIVIL;

traducido al español

POR

FRANCISCO ACED Y BARTRINA

PROFESOR MERCANTIL;

CON UN RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EXTRANJERO,
Y LAS MÁS IMPORTANTES OPINIONES EMITIDAS POR EMINENTES HOMBRES
SOBRE LA LOCOMOTORA SIN HOGAR

POR

el representante exclusivo en España
de la «C.ie Continentale d'exploitation des locomotives sans foyer»

ALEJANDRO ACED Y ARANA,

y un estudio crítico

POR

CARLOS ALFONSO

Ingeniero de caminos.

MADRID.

INPRENTA DE JOSÉ PERALES Y MARTÍNEZ.

Calle de la Cabeza, núm. 12.

1892.

PRÓLOGO DEL TRADUCTOR

Examinado por nosotros, con el detenimiento que se merece, el estudio comparativo de los diversos sistemas de locomotora propuestos para la tracción de ferrocarriles vecinales y de tranvías, escrito en francés por el Ingeniero civil Mr. León Francq, inventor de la locomotora sin hogar, y encariñados con el espíritu altamente científico y económico que en sus hojas encierra, no hemos vacilado un solo instante en dar á conocer, bajo el idioma nacional, las hermosas ideas que han servido de base al portentoso invento de la locomotora sin hogar, así como su aplicación á la tracción ferroviaria y á los tranvías, y su comparación con las locomotoras con hogar ú ordinarias y con las de aire comprimido.

No aspiramos, puesto que no desconocemos nuestra incompetencia, á que se considere nuestro trabajo un modelo de traducción; pero sí hemos tratado de no obscurecer conceptos ni de embrollar ó confundir ideas, buscando en todo la mayor claridad posible, huyendo siempre, con este objeto, de las enfadosas disertaciones científicas, en cuanto hemos podido, dando así á nuestra traducción un carácter más popular y corriente y más comprensible para la mayoría de las personas que no

hayan profundizado las ciencias mecánicas y matemáticas, y que sólo posean conocimientos generales de ellas.

No obstante y por concederle grande importancia, hemos traducido la teoría que, sobre las máquinas sin hogar, ha emitido el eminente mecánico Mr. Piarron de Mondésir. No deja de alcanzársenos que es puramente científica, y como tal, destinada á los que han dedicado su talento y su tiempo á esta clase de estudios; pero no por esto hemos de relegar al olvido tan importante y profundo trabajo, que admirarán, á buen seguro, los hombres de ciencia, y del cual pueden prescindir, sin detrimento de la inteligencia del asunto, los no versados en estas cuestiones.

En el orden de materias hemos seguido el plan expuesto por Mr. Francq, por parecernos que reune las dos importantísimas circunstancias de que hablamos antes: claridad y fácil comprensión.

Para terminar; hémonos limitado á verter al castellano el estudio de Mr. Francq sin poner de nuestra parte nada; pero muy satisfechos quedaríamos de nuestro pobre esfuerzo, si con ello hubiésemos conseguido dar una nueva idea, abrir un nuevo camino á la industria española por el empleo de estas máquinas, y que avanzase el país un paso más en el camino del progreso.

Madrid, Junio de 1892.

FRANCISCO ACED.

LA LOCOMOTORA
SIN HOGAR

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE LOCOMOTORA PROPUESTOS PARA LA TRACCIÓN DE LOS FERROCARRILES VECINALES Y DE LOS TRANVÍAS.

I

Antes de emprender el estudio comparativo de los sistemas propuestos desde hace algún tiempo para reemplazar las caballerías en la tracción de tranvías y de ferrocarriles vecinales, examinemos las condiciones á que estos sistemas deben satisfacer, bajo el punto de vista principal de realizar las ventajas siguientes:

A.—*Economía en la construcción.*
B.—*Economía en la explotación.*
C.—*Seguridad absoluta sobre la vía pública.*
D.—*Salubridad en las calles.*

A.—Para obtener la *economía de construcción,* la locomotora, de cualquier sistéma que sea, debe circular por curvas de veinte metros de radio sobre las vías ordinarias provistas de rails, con ó sin garganta; debe ser relativamente ligera y ocupar poco espacio, utilizando, sin embargo, la totalidad de su peso en la adherencia en las fuertes pendientes; debe, en fin, marchar hacia adelante ó hacia atrás sin el auxilio de placas giratorias.

B.—La *economía de explotación* se realizará si á trabajo igual, el gasto de combustible es menos grande; si el personal afecto á la tracción, á la conducción de trenes, al servicio de estaciones y de la vía, es reducido al mínimum; si los gastos de entretenimiento ó conservación de las máquinas se disminuyen, y si los gastos de intervención y de vigilancia son menos cuantiosos.

C.—La *seguridad será absoluta* en la tracción sobre la vía pública, si se quitan al motor todos los peligros de explosión; si se evita la proyección de chispas que podrían incendiar las techumbres de paja, las cosechas, etcétera, en los campos; el resplandor del hogar, la proyección de carbones incandescentes, los silbidos de las válvulas de seguridad, los aparatos de alimentación, el tiro artificial de los hornillos, los purgadores, como igualmente todas las causas capaces de espantar á los animales y de producir accidentes graves; si el maquinista está colocado sobre la máquina, de modo que vea siempre delante de él la vía pública que debe recorrer; en fin, si la máquina puede pararse con prontitud, con seguridad y arrancar rápidamente.

D.—Las condiciones de *salubridad* se cumplirán si se evita que la máquina arroje humo nocivo para los viajeros, proyecte hollín y ceniza despedidos por la chimenea y si no da ningún olor desagradable.

Las bases que acaban de enunciarse, pueden resumirse por orden en el programa siguiente, que regirá el estudio comparativo que vamos á hacer.

PROGRAMA:

A.—ECONOMÍA EN LA CONSTRUCCIÓN.	*a*	La locomotora circulará fácilmente por curvas de veinte metros de radio á lo menos. Su enganche con los coches será suave, sencillo y cómodo.
	b	— será ligera y poco voluminosa.
	c	— utilizará la totalidad de su peso en la adherencia sobre las pendientes.
	d	— funcionará idénticamente hacia adelante y hacia atrás sin el auxilio de placas giratorias.

B.—Economía en la explotación.	*e* La locomotora	utilizará todos los combustibles indistintamente.
	f —	consumirá poco combustible.
	g —	será dirigida por un solo maquinista sin aptitudes especiales.
	h —	maniobrará fácilmente y no necesitará una vigilancia ni una inspección costosa.
	i —	estará al abrigo de todas las averías susceptibles de aumentar los gastos de conservación.
C.—Seguridad pública.	*j* —	no podrá hacer explosión,
	k —	no proyectará chispas.
	l —	no dará resplandor por la noche.
	m —	no dejará caer carbones incandescentes sobre la vía pública.
	n —	no producirá ningun silbido, ni ruido en su funcionamiento.
	o —	tendrá su maquinista siempre colocado de frente á la vía pública y delante de la máquina.
	p —	estará provista de un freno potente y rápido.
	q —	arrancará rápida y fácilmente.
D.—Salubridad pública.	*r* —	no producirá ningún humo visible ó invisible.
	s —	no lanzará ni hollín ni cenizas sobre la vía pública.
	t —	no producirá olor alguno desagradable.

Este programa podría ser difícilmente cumplido por una se-

rie de motores considerados hasta el presente como absolutamente impracticables. Tales son especialmente los motores de aire caliente y dè amoniaco.

En consecuencia, y para no extraviarnos en un estudio demasiado lato sobre los numerosos sistemas que se muestran actualmente en el horizonte, limitémonos á examinar los que presentan caracteres más serios.

Estos son:

1.º—*Las locomotoras* de **evaporación constante ó de hogar;**

2.º—*Las locomotoras* de **aire comprimido;**

3.º—*Las locomotoras* de **vapor acumulado ó sin hogar.**

Una locomotora de cada uno de estos sistemas se ha construido y ensayado muy recientemente en París. Es importante averiguar las ventajas y los inconvenientes que atañen á cada máquina, para apreciar exactamente su valor, y definir, á continuación, por una comparación minuciosa, la superioridad de uno de estos sistemas sobre los otros.

Comenzaremos nuestro estudio por las consideraciones generales que establecemos sucesivamente sobre los tres sistemas, en el orden alfabético del programa. Después de haber deducido la conclusión, examinaremos, por medio de cálculos elementales, las ventajas económicas que ofrece cada uno de los sistemas.

CONSIDERACIONES GENERALES

LOCOMOTORAS DE EVAPORACION CONSTANTE Ó DE HOGAR

Las máquinas locomotoras de vapor empleadas para la tracción de nuestros ferrocarriles, han sufrido diversos ensayos

para aplicarlas á la tracción de tranvías y de ferrocarriles vecinales. Esta tentativa ha dado lugar á perfeccionamientos considerables, teniendo por objeto el descartar de la locomotora ordinaria todos sus inconvenientes sobre la vía pública. Estas variantes ó modificaciones no han dado un resultado completo, y es de temer que todos los estudios que se hagan en este sentido y en la hipótesis del empleo del hogar, no lo den tampoco.

Es evidente, en efecto, que la presencia de un hogar y de todos los accesorios que le acompañan, dan inmediatamente resultados que van en contra de las condiciones del programa; resultados que, la mayoría de las veces, son consecuencia natural de la producción constante de vapor; vamos á demostrar sucesivamente, que es imposible anularlos sin renunciar al uso del hogar.

Las locomotoras de vapor perfeccionadas y aplicadas hasta el día bajo formas diversas, tienen desgraciadamente los vicios originales que hacen difícil su empleo sobre las vías públicas.

Los diferentes modelos que han sido experimentados en Francia, Bélgica y otros países de Europa, así como los ensayados en América, presentan todos, más ó menos, los mismos inconvenientes. Veamos qué valor se puede seriamente atribuir á estos inconvenientes, y prosigamos nuestro examen con arreglo al programa trazado más arriba.

a.—Ningún sistema de locomotora de vapor con hogar ha realizado el medio de maniobrar fácilmente y con flexibilidad en las curvas de los tranvías, de un radio de *veinte metros*, por simples modificaciones de la vía ordinaria, sin recurrir á artificios especiales. Los descarrilamientos son frecuentes en las vías provistas de rails de garganta; no es esto, mirado minuciosamente, lo que viene á impedir que las locomotoras salgan de los rails en las curvas y en las agujas. Los diversos siste-

mas de enganche empleados hasta el día, no han conseguido que la locomotora y el coche remolcado tengan la independencia de movimientos necesaria paraque en su marcha sobre las curvas y en las irregularidades numerosas de las vías, la máquina y el coche puedan separadamente seguir la dirécción natural de las mismas y resistir á las causas que obrando exteriormente originan los descarrilamientos.

Pero no insistimos sobre esta cuestión secundaria que pertenece más al dominio de la construcción mecánica que al principio de la locomotora con hogar.

b.—Una locomotora provista de hogar que esté destinada á la tracción de tranvías ó ferrocarriles vecinales, deberá desarrollar una potencia de tracción excesivamente variable según los declives de las vías que tiene que recorrer. Por consecuencia, la caldera ha de tener una capacidad bastante grande para contener un volumen de agua capaz, por el calor adquirido, de proveer á la evaporación normal del hogar de una cantidad suplementaria de vapor suficiente para vencer las resistencias accidentales de la tracción, sin cambiar la marcha regular de la evaporación.

Por el contrario, si la caldera es poco voluminosa, la potencia del hogar debe ser bastante considerable para engendrar el vapor necesario al máximum de gasto de la máquina. Pero entonces, las variaciones considerables de presión en la caldera se producen contínua é inevitablemente, y esto hace que el buen uso apropiado del combustible se dificulte, la marcha de la máquina sea irregular, los riesgos de explosión se multipliquen y el servicio de alimentación del hogar resulte tarea muy penosa para el fogonero.

En uno y otro caso, los aparatos de evaporación de una locomotora de vapor acarrean siempre recargos de trabajo y cuidados que es necesario evitar. Estos recargos provienen, sobre todo, del empleo de los aparatos de seguridad y de ali-

mentación, depósitos de agua fría y de combustible, del hogar, de la caja de humos, de los aparatos fumívoros, de la multitud de tubos, del combustible, agua de alimentación y personal suplementario. En efecto: si se comparan dos locomotoras de vapor de diferentes sistemas, la una *con hogar*, la otra *sin hogar*, las dos provistas de un motor de igual potencia; si se detallan los pesos de las principales partes de cada una de estas máquinas, resulta del estado comparativo una diferencia elevada de peso muerto en favor de la locomotora *sin hogar*. Esta diferencia, que puede ser asombrosa *á priori*, se explica en razón de la densidad de los metales empleados en la construcción de los aparatos accesorios del hogar, densidad que representa, á volumen igual aproximadameute, siete veces el peso del agua recalentada necesaria á la máquina *sin hogar*.

El ser voluminosa resulta, refiriéndcse á lo que antecede, primero: de la necesidad de recurrir para una buena marcha al empleo de un volumen de agua relativamente mayor que en las locomotoras ordinarias; segundo: del espacio que es preciso reservar á los aparatos accesorios, numerosos y de gran volumen en la locomotora de hogar.

Sería demasiado extenso hacer aquí la demostración de lo que acabamos de indicar; podemos afirmar, no obstante, que la locomotora de *hogar* es más *pesada*, más *embarazosa*, á potencia igual, que la *máquina sin hogar*. Veremos más adelante, en el capítulo consagrado á las locomotoras de *aire comprimido*, que éstas son aún más pesadas y embarazosas que las locomotoras *con hogar*.

Hay locomotoras de hogar que utilizan la totalidad de su peso en la adherencia sobre las pendientes por el modo de estar acoplados sus ejes, pero franquean las curvas de la vía con muchas dificultades. Algunas veces se emplea el coche *automóvil* para aprovechar la carga útil de uno de los ejes so-

lamente; en otras circunstancias, siguiendo el ejemplo de Fairlie, en Inglaterra, se utiliza una parte del peso del coche remolcado, apoyándole por un extremo sobre la locomotora, mientras que el otro descansa detrás sobre el eje vertical de un truck. Si el coche es automóvil, el empleo de placas giratorias es indispensable; si se adopta el sistema Fairlie, ó bien las placas giratorias alcanzan dimensiones exhorbitantes ó bien las vías han de formar un semicírculo á su extremidad, condiciones que no pueden siempre conseguirse en la práctica. Sea lo que quiera, esta cuestión puede ser estudiada independientemente del sistema principal de la locomotora. Se demostrará más adelante, que es posible utilizar la totalidad del peso de la máquina en la adherencia, sin crear por esto otros inconvenientes.

d.—Las máquinas *con hogar* que funcionan actualmente, parecen haber resuelto el problema de avanzar y retroceder, sin el auxilio de placas giratorias. Sin embargo, su marcha no se efectúa, de un modo igual, en un sentido como en otro. Es posible remediar esto por la aplicación de los châssis ó bastidores articulados de los que hablaremos en el capítulo especial referente á la locomotora *sin hogar*..

e.—Las máquinas con hogar, para ser empleadas en la vía pública, deben estar necesariamente provistas de un hornillo fumívoro, y no se consigue ésto más que produciendo la evaporación exclusivamente por medio del cok lavado, purificado y denso.

El combustible escogido artificial, difícil y costoso, se impone, pues, en las locomotoras con hogar, destinadas al servicio de calles, particularidad que como veremos más tarde, constituye un gran inconveniente bajo el punto de vista de desembolsos ó gastos, sobre todo por el precio de adquisición del cok, cuando la aplicación de estas máquinas se verifique en un país donde no exista.

f.—Si queremos darnos exacta cuenta del gasto de combustible según la cantidad consumida, fácil nos será estimarla; pero, deseando tratar la cuestión importante de los gastos en general, al fin de este trabajo, nos detendremos en el cuadro de consideraciones generales.

Las personas á quienes pueda interesar este estudio saben que las locomotoras ordinarias de vapor, empleadas en los ferrocarriles, utilizan en pequeña proporción el combustible encendido. Se puede atribuir principalmente el pequeño rendimiento del calor gastado, á las causas siguientes: La combustión en un gran número de hogares (cada máquina tiene el suyo), combustión incompleta del combustible, entrada de aire frío al interior del hogar, entrar en ebullición á alta temperatura enorme cantidad de agua, pérdidas del vapor empleado en el tiro artificial del hornillo, formación de incrustaciones, pérdidas del calor por la trasmisión.

Las máquinas locomotoras *con hogar* están, pues, lejos de realizar el ideal de la buena utilización del calor producido por su trabajo. Con mayor razón las pequeñas máquinas de este sistema están obligadas á gastar relativamente más combustible en su aplicación á las vias férreas de las calles. La reducción de potencia de cada locomotora y el aumento del número de estas máquinas, acrecienta mucho y proporcionalmente, en efecto, los gastos de tracción relacionados con el tonelaje transportado; sucede, lo contrario, cuando es posible producir en gran cantidad el vapor en un sitio único para distribuirlo sucesivamente, sin pérdidas, en todas las locomotoras.

g.—La locomotora de vapor *provista de hogar*, no puede ser confiada para su maniobra á un solo maquinista sin aptitudes especiales. Dos hombres, competentes en la materia, son indispensables para un servicio de tracción sobre la vía pública, así como para la conducción de locomotoras en los ferro-

carriles. En efecto, mientras que el maquinista dirige su máquina, fijando siempre la vista sobre la vía pública que ha de recorrer, el fogonero debe estar enteramente ocupado en la inspeccción del hogar, alimentación de la caldera y aparatos de seguridad.

Por consecuencia, es de todo punto necesario ocupar dos hombres especiales en la locomotora *con hogar*.

Estos hombres, fatigados por una preocupación constante y más asídua que en el servicio de ferrocarriles, serán tanto más exigentes cuanto más especiales sean sus aptitudes. Siendo de temer que no consientan, como en las locomotoras de los ferrocarriles, hacer por el mismo precio un trabajo mecánico de quince horas de duración.

h.—Debido á la presencia del hogar en una locomotora de vapor, las maniobras son forzosamente más complicadas y numerosas. Como hemos dicho ya, dos hombres no son demasiado para atenderlas y desempeñarlas.

La vigilancia y la inspección son ineficaces si se ejercen como en el servicio de caminos de hierro; son *excesivamente* costosas, puesto que por medidas excepcionales y rigurosas, es preciso prevenir las consecuencias graves que la inexperiencia ó la imprudencia de los maquinistas pudiesen ocasionar en la vía pública.

Los gastos de inspección y de vigilancia pueden aumentarse también si se quiere evitar el despilfarro ó desperdicio del combustible distribuido entre gran número de máquinas á la vez.

La máquina *con hogar* no estará exenta de entrar tan á menudo como las de los sistemas de potencia acumulada en el depósito para aprovisionarse de agua fría y de combustible. Esta maniobra no será menos complicada de fijo que la que consiste en alimentar de vapor á las locomotoras *sin hogar*.

i.—Las locomotoras *con hogar* no están, desgraciadamente,

al abrigo de los gastos de entretenimiento producido por el desgaste ó deterioro y las averías.

Los aparatos de seguridad y de alimentación, el hogar, el sistema tubular, son susceptibles de averías que pueden algunas veces presentar un carácter grave. Los deterioros se producen rápidamente por las detonaciones, por las incrustaciones ó por otras causas; y si no son más frecuentes y más numerosos los accidentes en los ferrocarriles, débese á la vigilancia rigurosa y á las reparaciones, que resultarían demasiado onerosas en la explotación de los ferrocarriles auxiliares y tranvías.

j.—La cuestión de los peligros de explosión en la vía pública, es una de las á que conviene dedicar la mayor importancia, para así prevenir las desgracias que pueden ocurrir á los transeuntes que por ella circulan.

Los medios especiales empleados hasta ahora para conjurar los peligros de explosión, no son considerados como importantes en su aplicación á las locomotoras.

Podemos decir que no hay caldera de vapor de evaporación constante, que sea en absoluto inexplosible. Unicamente las calderas de producción instantánea de vapor, son las que han dado hasta el presente mayor seguridad; pero si estas calderas no han estallado, los documentos estadísticos publicados por el Ministerio de Trabajos Públicos (1), atestiguan que el recipiente de vapor de estas calderas puede estallar el día menos pensado.

La aplicación de las calderas de evaporación instantánea, exigen en absoluto, por otra parte, un aprovechamiento casi regular del vapor generado. Es decir, que el gasto producido por una máquina locomotora es irregular y muy variable. No tienen, pues, en la práctica ninguna aplicación ventajosa las

---

(1) Fomento.

calderas de evaporación instantánea. Partiendo de esto, las calderas que necesariamente se habrán de emplear serán *explosibles*, y donde quiera que se aplique un hogar de producción de vapor en una locomotora, se creará una série de peligros para el público.

k.—Con la actividad del tiro, sin el que el hogar no puede funcionar, parece muy difícil, si no imposible, impedir la proyección de chispas sobre la vía pública. Los numerosos ensayos verificados hasta ahora para obviar este inconveniente, no han tenido buen éxito.

l.—Con el empleo de las locomotoras de *evaporación constante*, es casi imposible evitar durante la noche, el resplandor del hogar á través del cenicero. Este resplandor siempre aparece más ó menos intenso, y contribuye mucho á espantar á los animales que difícilmente se familiarizarán con él.

m.—Se evita más fácilmente la caida de carbones incandescentes sobre la vía pública. Si aún no se ha obtenido un resultado completo en este sentido, nos parece posible realizarlo con algunas disposiciones especiales del cenicero.

n.—Toda locomotora con hogar produce ruido desde el momento que tiene válvulas de seguridad y tiro forzado. Este ruido toma sobre todo más intensidad, cuando se trata de activar la difícil combustión del cok. En cuanto á los purgadores, es imposible hacerlos funcionar sin que produzcan silbidos.

o.—El maquinista podrá colocarse en la parte delantera de la locomotora, tanto en la máquina con hogar como en todos los demás sistemas. Esta condición nos parece necesaria para la seguridad de la marcha; en la construcción no debe perderse de vista, que cualquiera que sea el movimiento de la máquina, el maquinista debe siempre estar colocado de frente á fin de poder fijar su atención en la vía que debe recorrer.

p.—Los progresos realizados recientemente en los frenos,

nos permiten exponer que la locomotora *con hogar*, tanto como los otros sistemas, es capaz de pararse prontamente y con seguridad.

q.—Acerca de la cuestión de partir, de arrancar, seremos también breves. La industria mecánica puede realizar un modo de arrancar rápido, tanto en las locomotoras *con hogar*, como en las pertenecientes á los sistemas de aire comprimido y de vapor *sin hogar*.

r.—Es imposible, por medios prácticos, absorber realmente el humo que proviene del hogar de la locomotora de vapor. Se ha tratado con detenimiento realizar la desaparición del humo del hogar, ya por la aspiración de un gran volumen de aire, ya por la inyección del vapor de los escapes bajo la rejilla; pero la desaparición del humo se ha hecho siempre á expensas de la economía del combustible encendido.

Es preciso añadir, en fin, que la desaparición de los humos no proporciona un remedio adecuado á los inconvenientes que los primeros pueden ocasionar en las calles. En efecto, si se llega por una combustión completa, en absoluto, á decolorar el humo, no por esto se llega á hacer desaparecer su naturaleza incómoda é insoportable. La combustión incompleta produce gases más ligeros que el aire, que desaparecen por ascensión; por el contrario cuando la combustión es completa, los gases producidos son más pesados que el aire, y sé acumulan sobre el piso de las calles.

De esto resulta, que cuando circulan numerosas máquinas diariamente en una población, los gases se distribuyen por las calles y por las casas en vez de disiparse en la atmósfera. Es verdad que el ácido carbónico no produce efectos deletéreos sobre los órganos de los animales, pero no lo es menos que vicia considerablemente el aire de las calles.

¿Se puede entonces pensar siquiera en el empleo de máquinas capaces de viciar el aire de las poblaciones, cuando tan

inmensos gastos se vienen haciendo en todas partes de algunos años acá, en interés de la salud pública?

s.—La proyección del hollín y de las cenizas lo mismo que la de las chispas, es consecuencia del tiro enérgico del hornillo de las locomotoras de evaporación constante. Parece, pues, difícil eliminar de este sistema el inconveniente de lanzar la ceniza y el hollín sobre los viajeros.

t.—En cuanto á los gases que evacua la chimenea, siempre son más ó menos odoríficos. Sin embargo, cuando el hogar está alimentado por cok en vez de carbón de piedra, el olor particular de los hornillos de la locomotora se atenúa sensiblemente.

En resumen; si las locomotoras de vapor con hogar son susceptibles de mejoras, con objeto de obviar algunos inconvenientes secundarios que se le censuran actualmente, resulta de lo expuesto que no obstante están condenadas á continuar siendo *pesadas* y *voluminosas, á alimentarse de un combustible único y especial, á consumir relativamente mucho, á emplear un numeroso personal escogido y á sufrir las elevadas cargas de inspección y vigilancia.* No pueden evitar ni un *entretenimiento costoso,* ni *los riesgos á explosiones,* ni *la proyección de chispas;* son susceptibles de *espantar á los animales por el resplandor de su hogar y los ruidos de su funcionamiento, de viciar el aire de las calles con el humo*; sin que la cara y los vestidos de los viajeros estén al abrigo del hollín y de la ceniza.

Tales consideraciones bastan, á nuestro parecer, para desterrar de la vía pública las locomotoras de este sistema. En un capítulo especial establecemos después los gastos que la aplicación de las máquinas con hogar producirían en los tranvías ó en los ferrocarriles vecinales. Compararemos estos gastos con los que ocasionan en las misma condiciones los sistemas sobre los que vamos á continuar nuestro examen.

LOCOMOTORAS DE AIRE COMPRIMIDO

A priori, cuando se examina superficialmente la cuestión de aplicar el aire comprimido como fuerza motriz, se siente uno seducido por las ventajas aparentes de tal sistema. La ausencia de un hogar en ignición, de un escape ruidoso é incómodo, y de otros inconvenientes graves de que se acusa con razón á la locomotora de vapor con hogar, todo concurre á producir una ilusión que se desvanece desde el momento en que se estudia con atención la base de la potencia motriz del aire comprimido, así como los medios de ponerla en práctica.

En las locomotoras ordinarias la fuerza reunida en la caldera bajo la forma de vapor acumulado á una presión dada, es directamente utilizada por medio de los pistones. No obstante el empleo directo del vapor, estas máquinas se hallan aún lejos de responder á lo que, teóricamente hablando, se las puede exigir, puesto que en la actualidad no producen más que un 50 por 100 aproximadamente del trabajo teórico.

Ahora bien, la teoría indica que estas locomotoras no pueden, aun en el caso de la mayor perfección que le sea permitido alcanzar, utilizar más de 0'26 del calor producido por el combustible.

En presencia de una pérdida tan considerable que no permite alcanzar más que al 0'13 del ideal, es de la mayor importancia desechar todo intermediario entre el nacimiento ú origen del calor y los pistones motores; este principio invertido es el que se aplica á las locomotoras de aire comprimido, cuando se emplea para la compresión del aire la fuerza motriz de una máquina de vapor.

Por el contrario, si se trata de aprovechar extraordinariamente los saltos de agua ó las corrientes de ella improductivas, para comprimir el aire, la aplicación del aire comprimido se

muestra bajo un aspecto más favorable. De esta idea han partido los primeros inventores de las máquinas de aire comprimido en Francia, y en ciertos paises de Europa y América, que al fin y á la postre y uno después de otro han ido abandonando sus proyectos.

Por ejemplo, M. Andraud, después de él M. Pecqueur, y muchos otros todavía, han renunciado á la aplicación del aire comprimido tras de haber hecho multitud de esfuerzos para obtener buen éxito. Las máquinas de este sistema, notablemente perfeccionadas y construidas para explotar los tranvías de Chicago, han sido abandonadas después de hacer servicio durante algún tiempo. Esperiencias realizadas en otro tiempo en Inglaterra no alcanzaron mejor éxito. Respecto á las máquinas cuyo uso se ha adoptado, según se dice, en Glascow, su empleo no es ciertamente remunerador. Indudablemente se debe su adopción en la Gran Bretaña para evitar la tracción costosa de caballos, á la prohibición que allí existe de circular locomotoras de vapor durante el día sobre la vía pública; pero, si una nueva ley del Parlamento levantase, como se espera, tal prohibición, el empleo del aire comprimido sería considerado como se merece y abandonado inmediatamente.

M. Andraud ha sido quizás el inventor que ha consagrado mayor número de años á experimentar los medios de obtener y de utilizar con el aire comprimido una creación nueva de trabajo y de riqueza, olvidando, como otros muchos después de él, que el aire comprimido no es más que un resorte intermediario de acumulación y susceptible de restituir, en determinadas condiciones, pero siempre defectuosamente, el trabajo empleado para comprimirle.

«M. Andraud llevaba sus ilusiones tan allá, que quería, »según él, llegar al punto en que cada uno tuviese fuerzas de »repuesto ó almacenadas, como se tienen los caballos en la cua»dra para el trabajo del día siguiente. Añadía que se estable-

»cerían en sitios convenientes depósitos fijos á donde cada cual »iría con su aparato vacío, á tomar la fuerza motriz mediante »una pequeña retribución, como vemos en París á los aguado- »res llenar sus cubas en las fuentes públicas; la fuerza, pues, »sería una mercancía que se fabricaría y se vendería.»

Estas palabras que tomamos del Diccionario de M. Ch. Laboulaye, son aún en nuestros días el sueño acariciado por los partidarios de los motores de aire comprimido. M. Laboulaye hace á este propósito las siguientes reflexiones:

«No negamos que sea esto posible, pero ¿á qué precio y con »qué dificultad de ejecución? Hé aquí lo que M. Andraud no ha »estudiado como Ingeniero. Los trabajos de una presa (la de »Marly ha costado 2 millones), para establecer bombas sobre los »ríos, las canalizaciones extensas *cuestan sumas enormes*, y »suponiendo vencidas todas las dificultades de ejecución, el »*coste de fabricación* de un trabajo motor semejante, sería en »muchos casos *superior al producido por una máquina de va- »por*. Volveremos á ocuparnos especialmente de este punto, al »tratar sus aplicaciones, y nos encontraremos con que muy á »menudo, el trabajo motor natural es mucho mayor que el em- »pleado en el sitio de consumo. La hulla no cuesta más que el »ir á buscarla, y el trabajo motor del vapor es sin embargo bas- »tante costoso en general. La naturaleza facilita siempre gra- »tuitamente sus fuerzas, y el precio del trabajo no proviene »más que de los gastos necesarios para obtenerle en las condi- »ciones deseadas y en sitio determinado. Esta es la verdad del »aire comprimido como de cualquier otro medio de producción »de trabajo, siendo la comparación de los gastos la que de- »muestra cuál es el mejor sistema en cada caso. Tal es el prin- »cipio económico que nunca se debe perder de vista en el exa- »men y comparación de diversas potencias motrices.»

Todos los hombres sabios y que tienen como M. Laboulaye gran autoridad en la apreciación de semejantes cuestiones, es-

tán unánimes en aceptar la opinión que precede. Esto, que es verdad para los motores ideados por M. Andraud, no lo es menos para los que se ensayan actualmente. Si se ha perfeccionado el sistema primitivo inventando aparatos *espansores (détendeurs)*, aumentando el rendimiento de los compresores, evitando los efectos perjudiciales del frío al escape del aire, las leyes físicas no han cambiado por ésto. El aire comprimido transmite una fuerza en las mejores condiciones sin duda, pero no la engendra.

Las ilusiones que han animado en otro tiempo á M. Andraud sobre los servicios que puede prestar el aire comprimido, empleado como fuerza motriz, se desarrollan y propagan mucho en este momento. Se cree haber desterrado los vicios originales del aire comprimido empleado como motor, cuando no se ha mejorado más que la manera de hacerle servir.

Demostraremos más adelante en qué consisten los errores en que incurren los partidarios del aire comprimido.

Mientras tanto dediquémonos al examen de las ventajas é inconvenientes de su empleo. Por las consideraciones generales vemos, como lo hemos hecho ya á propósito de las máquinas con hogar, hasta qué punto este sistema puede satisfacer las condiciones del programa.

a.—En los ensayos de los diversos sistemas de locomotoras de aire comprimido, no se ha demostrado todavía prácticamente que puedan éstas circular fácilmente en las curvas de 20 *metros* de radio. Un coche automóvil de aire comprimido esperimentado en París en los tranvías de la Étoile á Courbevoie, no ha podido franquear las curvas dificultosas de un radio muy *superior* al de 20 metros, sin que se reemplazase el rail exterior de garganta por uno plano.

Esta solución, suficiente para demostrar lo que se quiere sobre esta línea, no puede aceptarse para una aplicación regular. Es preciso, en efecto, redoblar la atención y precaucio-

nes, disminuir mucho la velocidad de la locomotora y disponer la vía de un modo particular, á fin de evitar todo descarrilamiento.

Proceder así es volver la dificultad en lugar de orillarla.

Para vencerla no es preciso recurrir á tales medios, sino á los mecánicos que paralizan, sobre la misma maquina, las causas de los descarrilamientos, sin turbar su equilibrio, causas que residen principalmente en la acción de las fuerzas tangente y centrífuga que, como se sabe, son tanto más potentes cuanto mayor es la velocidad y más considerable la masa en movimiento.

Los medios empleados en los ferrocarriles para equilibrar, por la elevación del rail exterior, los efectos de las fuerzas que acabamos de señalar, son insuficientes é impracticables sobre la vía pública, cuando se trata de entrar con velocidad en curvas de 20 metros. No es posible disminuir más el cuerpo de la máquina ni moderar mucho su velocidad; renunciar al acoplamiento de los ejes es perder el beneficio de la adherencia en las fuertes pendientes.

Es preciso agregar, por otra parte, que el Ministerio de Obras Públicas rechaza toda idea de alteración del perfil de las carreteras construidas.

Es, pues, necesarío aceptar la posición de los rails según el emplazamiento que les señale, en curva por supuesto, el perfil de la vía pública. Pero como puede suceder que el rail exterior esté más bajo que el interior, á la inversa de lo que se practica en los ferrocarriles, resulta que es necesario de todo punto combatir sobre la máquina misma las causas de los descarrilamientos.

Estos medios no han sido empleados para las máquinas de aire comprimido más de lo que lo han sido para las de hogar; nos reservamos señalar las disposiciones que han sido adoptadas en las locomotoras *sin hogar* para obtener el resultado deseado.

b.—Si calculamos la presión á que es conveniente comprimir el aire para obtener, bajo un mismo volumen, un trabajo igual al que podría dar una caldera de vapor, ó una cantidad de agua recalentada, el cálculo indica que esta presión debe ser superior á 200 atmósferas.

Como es imposible, en la práctica, acumular el aire comprimido á 200 atmósferas, volveremos á enunciar el problema como sigue: *dada la presión de 25 atmósferas á la cual se acumulará el aire en los depósitos de una locomotora ¿qué volumen habrán de tener estos depósitos, para efectuar un trayecto de ida y vuelta de 20 kilómetros, sobre un perfil de vía que presente por término medio una pendiente continua de 0,m 005 por metro, con una carga total de 15 toneladas?*

Empecemos calculando el trabajo dinámico que es preciso desarrollar, sobre la llanta de las ruedas, para remolcar este tren de 15 toneladas en las condiciones que acabamos de exponer. Admitamos, según los resultados de las experiencias hechas en las líneas de tranvías, en buen estado, un esfuerzo de tracción de 10 kilógramos por tonelada, y supongamos un esfuerzo suplementario de 1 kilógramo por tonelada, para tener en cuenta la resistencia de las curvas.

Tenemos:

$$T = 15.000 \times \left(0.011 + (0.001 \times 5)\right) \times 20.000 = 4.800.000 \text{ kilógramos.}$$

Veamos, no obstante, cuál es el volumen de aire comprimido á 25 atmósferas que puede producir este trabajo. Supongamos, para esto, que la fuerza elástica del aire cesará de obrar cuando la presión pase de 5 atmósferas, que el calor desarrollado con la compresión será completamente absorbido, y en fin, que el escape será siempre utilizado por el calentamiento del aire antes de entrar en los cilindros motores.

Los cuadros formados por M. Lindelof, por medio de la fórmula general: $T = P\,V \text{ log. hyp. } \frac{V_1}{V}$, indica que un metro cú-

bico de aire comprimido á 25 atmósferas arrastra 831.700 kilográmetros; que el mismo volumen de aire comprimido á 5 atmósferas arrastra solamente 83.170 kilográmetros. De esto resulta, que si se utiliza la fuerza motriz de un metro cúbico de aire comprimido á 25 atmósferas hasta el límite inferior de 5, el trabajo producido sobre los pistones será

$$831.700 - 831.70 = 748.530 \text{ kilográmetros.}$$

Teóricamente, el trabajo consumido por la compresión del aire debe restituirse por entero á la expansión. Pero en la práctica, las fugas, los efectos frigoríficos, la resistencia de la presión atmosférica, reducen el trabajo utilizable en los pistones á un 50 por 100 menos.

Si admitimos este coeficiente de 50 por 100 y si suponemos que el mecanismo de la máquina no consumirá, por sus resistencias pasivas, más que 40 por 100 del trabajo motor de los pistones, se tendrá el trabajo que puede producir un metro cúbico de aire á 25 atmósferas sobre la llanta de las ruedas, por;

$$T_u = 748.530 \times 0{,}60 \times 0{,}40 = 224.559 \text{ kilgrámetros.}$$

Es preciso pues, para desarrollar el trabajo de 4.800.000 kilográmetros, indicado antes, un volumen total de aire comprimido á 25 atmósferas, igual á

$$V = \frac{4.800.000}{224.559} = 21^{\text{ m. c.}}$$

ó sea 21 metros cúbicos.

Una máquina locomotora que ocupa un tan gran espacio es sin duda demasiado voluminosa; y si se considera después que el volumen de 21 $^{\text{m. c.}}$ debe estar contenido en depósitos metálicos muy resistentes, se adquiere la convicción de que su peso alcanza entonces notables proporciones.

Más tarde hemos de ver que para producir un trabajo igual á 4.800.000 kilográmetros, es necesario un depósito cubicado sólo para 3 metros cúbicos de agua recalentada y produciendo el vapor entre los límites de temperatura de 193 á

135 grados. En este caso, el peso total de agua recalentada y del depósito metálico está muy lejos de ser el peso total de los depósitos de aire comprimido y de la caldera.

Se puede, pues, concluir de todo esto, que los motores de *aire comprimido*, á potencia igual, son *voluminosos y pesados* no obstante su aparente ligereza.

Se podría obviar el inconveniente del gran volumen y del peso, disminuyendo el intervalo entre dos cargas sucesivas y alimentando la máquina de aire comprimido por conductos generales de distribución colocados á todo lo largo de la vía, proveyéndo éste á una presión constante. Pero este medio, desgraciadamente, no es de fácil aplicación ni económico; exige enormes gastos ante los que retroceden los capitalistas más emprendedores, y da lugar, por otro lado, á un coste de fabricación tan sumamente elevado, que el interés, que impele á buscar los nuevos medios de tracción por las máquinas, desaparece completamente.

c.—Con los motores de aire comprimido, como con los demás sistemas, es fácil obtener el máximum de adherencia por el acoplamiento de todos los ejes. Pero ya hemos hecho observar, —párrafo *a*— que este acoplamiento es un inconveniente para la fácil circulación de las máquinas en las curvas de pequeño radio, inconveniente que no puede ser vencido sino por disposiciones especiales, que no han sido adoptadas para las máquinas de aire comprimido actualmente en ensayo, pero cuyo empleo en todas las máquinas en general, daría los mejores resultados.

Es cierto que, cuando un motor es aplicado directamente sobre un coche cargado, la adherencia de un eje basta para franquear las pendientes fuertes y las curvas pequeñas. Pero el coche automóvil no es siempre de una aplicación fácil ni ventajosa. Por consecuencia, en muchas circunstancias, cuando la máquina esté aislada de la carga que ha de arrastrar,

la adherencia necesaria deberá efectuarse por todos los ejes; hé aquí en esta hipótesis, por qué es indispensable el perfeccionar las locomotoras de aire comprimido.

d.—Las máquinas de aire comprimido, remolcadoras, pueden estar dispuestas en su conjunto para avanzar ó retroceder, á voluntad, sin el auxilio de las placas giratorias, como lo hemos hecho observar ya á propósito de la máquina *con hogar.* Tal facultad no es posible, sin embargo, sino cuando la calidad de la marcha, en uno y otro sentido, es igualmente favorable á la circulación en las curvas. Según esto, las disposiciones tomadas hasta el día son insuficientes para alcanzar este resultado.

En segundo lugar, si se emplean los coches automóviles, es inevitable el uso de placas giratorias que pueden llegar á alcanzar dimensiones considerables, tanto, que su tamaño puede presentar en el porvenir, el inconveniente de limitar la longitud de los coches-máquinas; su empleo, en fin, da lugar á un gasto de instalación inútil y á desembolsos considerables por las maniobras y conservación.

¿Permitirá la Administración instalar placas giratorias sobre la vía pública? Hé aquí una grave cuestión á la que difícilmente se puede responder. En todo caso, por ventajosos que sean los perfeccionamientos realizados por hábiles Ingenieros en la construcción de las placas giratorias destinadas al servicio en las calles, es incuestionable que la limpieza ha de ser frecuente y que el embarazar la vía pública ha de ser la consecuencia más inmediata de su uso.

e.—La aplicación del aire comprimido tiene la inmensa ventaja de emplear cualquier combustible para la compresión del aire. En ciertas circunstancias, el aire comprimido se puede obtener, utilizando las fuerzas naturales al precio tan sólo del interés y de la amortización del capital de instalación, de los gastos de mano de obra y de entretenimiento.

En efecto: el aire comprimido es una fuerza elástica que se puede acumular en sitio fijo para ser distribuida periódicamente en una ó muchas locomotoras. La presión obtenida, es el trabajo que puede producir una máquina de vapor ó bien una fuerza natural cualquiera; corrientes de agua, saltos de la misma, etcétera.

En el primer caso todos los combustibles pueden quemarse para la producción, en calderas fijas, del vapor que necesite la máquina; en el segundo no hay que quemar ningún combustible; las cargas de consumo desaparecen para dar paso á las cargas financieras de instalación que pueden ser mucho más superiores.

f.—Como se acaba de decir, las locomotoras de aire comprimido no gastan ningún combustible cuando la compresión se produce por una fuerza natural. El aire comprimido no cuesta más, en esta hipótesis, que los gastos de compresión y los accesorios de instalación de máquinas hidráulicas y los de numerosos aparatos, cuyo importe total puede alcanzar proporciones considerables.

Suponiendo que los capitales estén dispuestos á aventurarse en la instalación gigantesca de aparatos hidráulicos, ¿se puede admitir que el aire comprimido pueda ser utilizado de una manera general en las ciudades y en los campos? Ciertamente que no, si el aire, comprimido en el mismo taller, no se distribuye por medio de tubos como se hace para el gas y el servicio de aguas. El empleo de fuerzas naturales gratuitas no se puede considerar, por consecuencia, más que como un caso aislado, como en la perforación del Saint-Gothard, por ejemplo.

Sin embargo, se dirá, si se canalizan las vías que ha de recorrer, podríase utilizar por doquiera las fuerzas naturales disponibles distribuyendo en las máquinas, de distancia en distancia, el aire comprimido que habían de gastar.

Se utilizaría, es cierto, pero en condiciones que harían des-

aparecer, una vez más, el interés que se atribuye al empleo de los motores mecánicos en la tracción.

Los frotamientos interiores de los tubos serían, en efecto, excesivamente elevados, y la importancia de la presión necesitaría gruesos conductos metálicos, de entretenimiento costoso, y dando lugar á un gasto tan elevado que sólo el interés del capital invertido haría resultar carísimo el aire que las fuerzas naturales debían suministrar gratuitamente, al parecer.

Será útil añadir que las fuerzas naturales, que seducen á menudo á los partidarios del aire comprimido, no son constantes ni regulares. Circunstancias especiales que la inteligencia humana no es capaz de modificar, pueden á veces suprimirlas temporalmente como sucede en los talleres, fábricas, etcétera, que están movidos por aparatos hidráulicos. Si estas fábricas ó talleres pueden estar paradas sin inconveniente, no sucede lo mismo con un servicio público de locomoción.

Para evitar esta eventualidad, será preciso, pues, proveer á la instalación de máquinas de vapor combinadas; pero esto sería un nuevo aumento de gastos de establecimiento, que es imposible admitir sin sacrificar los principios más elementales de la economía industrial.

En consecuencia, es preciso considerar atentamente el gasto que ocasiona la presión del aire por el vapor, es decir, el del combustible, lo cual vamos á hacer en el párrafo siguiente:

Para evaluarle exactamente, supondremos que, en cada línea de ferrocarril ó de tranvías, se empleará, en el taller de compresión de aire, una batería de calderas fijas y potentes máquinas de vapor de gran espansión y condensación; bombas de compresión, las más perfeccionadas, para comprimir el aire á una temperatura constante y acumularle en los grandes depósitos; que estos grandes depósitos acumuladores lo distribuyan en los de cada máquina, y en fin, que

durante la espansión del aire, sea calentado por un medio cualquiera, por ejemplo, el agua hirviendo.

Se podrá asegurar con esto que el gasto de combustible utilizado en el trabajo útil de la locomotora de aire comprimido, es enorme, demasiado elevado para producir todas las ventajas económicas dignas de interés. Nadie se asombrará de semejante resultado, si se considera, aunque sea ligeramente, que el trabajo empleado en el generador, no es más que una pequeña parte del empleado por el aire en los depósitos de aprovisionamiento; que el trabajo gastado para la compresión del aire no representa más que una fracción del absorbido por las bombas de compresión; que el utilizado sobre los compresores, no es más que una parte del efectuado por el vapor sobre los pistones de la máquina; y por último, que es preciso devolver al aire que obra en los cilindros del locomotor, una cantidad importante de calor para mantenerle á constante temperatura, cuando se escapa de los cilindros motores de la máquina. Resumiendo; es preciso señalar que en vez de transformar directa y definitivamente el calor en trabajo mecánico en el locomotor, como sucede en todas las máquinas de vapor, el sistema de aire comprimido exige una transformación del trabajo mecánico del vapor y el empleo de aparatos intermediarios cuyas resistencias pasivas absorben mucho del que debiera ser utilizado.

A esta pérdida de trabajo, viene á agregarse la del combustible necesario para calentar el aire que se espansiona y las pérdidas del mismo por las fugas.

En resumen: los motores de *aire comprimido* son, de todos los comparados en este estudio, los que consumen más combustible.

g.—El empleo del aire comprimido aplicado á la locomoción, no exige más que un maquinista para dirigir la máquina.

En efecto; estando los aparatos de producción de la fuerza

motriz establecidos en un lugar fijo, en el depósito de máquinas, por ejemplo, no deben tener tanto personal para su cuidado como hay en las máquinas locomotoras, lo cual constituye una ventaja incontestable sobre los motores de vapor provistos de hogar.

Sin embargo, el maquinista destinado á conducir un locomotor de aire comprimido, ha de tener aptitudes especiales. ha de ser bastante hábil para maniobrar y cuidar con inteligencia los delicados aparatos que se le confían.

Conforme á las observaciones ya señaladas á propósito de las máquinas de vapor de evaporación constante, este maquinista reclamará un salario muy elevado, si consiente en hacer un servicio diario de más de diez horas sin interrupción. No tendremos, sin embargo, en cuenta este gasto excesivo, cuando comparemos los motores entre sí bajo el punto de vista económico.

h.—Toda máquina que lleva en sus costados una cantidad de trabajo, para emplearlo regularmente durante un tiempo determinado y para renovarlo periódicamente después de agotado, en vez de producirlo constantemente sobre el camino, realiza perfectamente el problema de sencillez y economía de inspección y vigilancia.

Las cargas sucesivas de aire comprimido en los depósitos del locomotor, no constituyen, en efecto, una maniobra más complicada que la de alimentar de agua fría y de combustible las máquinas de hogar. En cuanto á los gastos de vigilancia é inspección, se reducen mucho en razón de hallarse concentrada la producción de fuerza motriz.

Es preciso observar, sin embargo, que la doble carga de aire comprimido y de agua hirviendo en la caldera, constituye una dificultad de maniobra bastante seria para ser tomada en consideracion.

Por otra parte, el inconveniente más grave es el que resulta

del tiempo empleado en la carga de los depósitos. En efecto, de los cálculos del Ingeniero M. Lindelof se deduce que son necesarias 3 horas próximamente para comprimir un metro cúbico de aire á 25 atmósferas con la potencia de un caballo de vapor. Con 100 caballos de vapor se comprimirá 100 veces más cantidad, pero se ganará bien poco en velocidad, porque el calor que se desarrolla, y que no puede ser más que imperfectamente absorbido por una inyección de agua fría, es proporcional á la cantidad de trabajo producida. Será preciso entonces, ó un número considerable de coches aprovisionándose de los compresores, ó bien una cantidad enorme de depósitos de acumulación de aire cargados con anticipación.

En una y otra hipótesis, resultará muy aumentado el gasto de instalación; en la segunda, será considerable el desperdicio de aire por la multitud de pequeñas fugas que, según los ingenieros especiales, es casi imposible evitar á una presión tan elevada, aun estando las juntas perfectamente ajustadas.

i.—El sistema de producción de fuerza en lugar fijo, adoptado por la locomoción de aire comprimido, disminuye mucho las probabilidades de avería, que se puede censurar á las locomotoras de vapor con hogar. No existiendo la acción del fuego y las incrustaciones las causas de deterioro desaparecen completamente.

Los motores de aire comprimido engendran, por tanto, gastos por el uso y conservación que son extraños á las máquinas de hogar. El desgaste proviene del polvo y el barro que se introduce en los órganos mecánicos y delicados de la máquina; la conservación resulta de las numerosas fugas cuyos efectos no pueden evitarse más que por las más minuciosas precauciones. No es imposible anular el gasto producido por el uso anticipado, mejorando las disposiciones de la máquina. Por el contrario, los gastos de conservación ocasionados por las fugas serán tanto más elevados cuanto mayor sea la tensión del aire

y más voluminosos y en mayor número los depósitos acumuladores. Las máquinas de vapor, las bombas, los conductos de aire al taller de compresión, dan lugar, por otra parte, á un entretenimiento bastante dispendioso, en razón á la importancia de las instalaciones que exige la aplicación del aire comprimido.

j.—Es difícil dar una opinión terminante acerca de los riesgos de explosión de los depósitos de *aire comprimido*. A primera vista parece que el aire comprimido á una presión cualquiera, para que sea enseguida impelido sobre los pistones del motor, no puede en manera alguna dar lugar á peligros de explosión. Así lo hemos pensado nosotros mucho tiempo; pero nuestra opinión se ha modificado después que un Ingeniero extranjero nos ha afirmado haber sido testigo, en Turín, de una explosión producida por el aire comprimido á alta presión.

El aire había sido comprimido, nos decia este ingeniero, en un depósito de cobre rojo á una presión elevada, para hacer experiencias de laboratorio. El depósito presentaba una resistencia suficiente para soportar la carga interior. Se llenó el depósito de aire en medio de un patio, y cuando apareció el sol, los rayos de éste determinaron una explosión que se produjo con gran estrépito y de un modo aterrador.

Este incidente no dejó de llamar la atención á los hombres técnicos, que no pudieron explicarse las causas de la explosión sino atribuyéndola á la dilatación del aire comprimido, al considerable aumento de su volumen y de su presión.

Los fenómenos de este género, ¿podrían producir en ocasiones los más graves accidentes sobre la vía pública? No nos atrevemos á contestar nada, pero si el hecho se reprodujera, no nos sorprendería.

k.—La ausencia del hogar en las locomotoras de *aire comprimido,* realiza la ventaja de no poder proyectar chispas sobre la vía pública.

l.—Por los mismos motivos, el resplandor del hogar y todos los inconvenientes que entraña están evitados completamente.

m.—No hay carbones incandescentes distribuidos sobre la vía pública.

n.—La locomotora de *aire comprimido* no produce ningún ruido por el tiro de la chimenea, por los escapes del vapor, por las válvulas, etc.; puesto que ni tiene válvulas, ni escape de vapor, ni tiro de la chimenea.

Produce, sin embargo, este sistema, cuando funciona en una pendiente, una especie de silbido. Señalamos el hecho únicamente como una indicación.

o.—Se puede decir que el sistema de *aire comprimido,* tal como se ha presentado hasta aquí, satisface completamente las condiciones del programa, en lo que concierne á la posición del maquinista delante de la máquina. Pero bueno es hacer constar que esta condición no se efectúa sino empleando placas giratorias á cada extremo de la línea.

p.—Respecto á la potencia y prontitud del freno, se puede decir para este sistema lo que ya se ha dicho á propósito de la locomotora con hogar. La mecánica posee bastantes medios hoy para resolver satisfactoriamente el problema, cualquiera que sea el sistema empleado.

q.—El arranque ó partida es una cuestión extraña en absoluto al principio mismo de la máquina. Regulando la presión á voluntad, y estableciendo las dimensiones de los cilindros motores en consecuencia, es fácil obtener un pronto arranque.

r. s. t.—La locomotora de *aire comprimido* no produce humo, ni lanza hollín ni cenizas sobre la vía pública; constituyendo la realización de estas condiciones, incontestables y muy preciosas ventajas.

En resumen, las locomotoras de *aire comprimido* reunen las *ventajas* características siguientes:

Empleo de todos los combustibles;

Necesidad de un solo maquinista para cada locomotora;

Maniobra sencilla de éstas;

Reducción de los gastos de conservación de las mismas;

No proyectar chispas;

No producir resplandor por la noche;

No arrojar carbones incandescentes sobre la vía pública;

Ir colocado el maquinista á la cabeza de la máquina;

No producir humo, ni cenizas, ni olores;

Por el contrario, presenta los *inconvenientes* que van á continuación:

Dificultad de circular fácilmente en las curvas de 20 metros de radio;

Tener mucho peso y volumen;

Dificultad de utilizar su peso en la adherencia como máquinas remolcadoras;

Necesidad de placas giratorias;

Gasto excesivo de combustibles;

Conservación costosa de los aparatos de compresión, depósitos, etc.

Producir el aire, al escaparse, una especie de silbido;

Gastos considerables de instalación.

Se puede demostrar aquí que, si las máquinas de aire comprimido ofrecen ventajas más importantes que las locomotoras con hogar, la importancia de ellas disminuye por los inconvenientes graves á que dan lugar. Hacemos constar, en efecto, que las ventajas realizadas son en favor del buen funcionamiento y de la salubridad pública, mientras que los inconvenientes se refieren directamente á la economía general del sistema. Esto nos obliga á decir que las ventajas se obtienen á costa de un sacrificio demasiado grande para que el sistema que las crea pueda ser adoptado en la práctica.

Más tarde veremos por qué otros medios se pueden realizar las ventajas obtenidas por las máquinas de aire comprimido,

descartando todos sus inconvenientes. Se verá que el sistema de máquinas de vapor *sin hogar* es capaz de responder por entero á las condiciones del programa, y que el principio sobre el cual está fundado, representa la aplicación de la potencia del vapor más sencilla, más racional, y por tanto, *más económica.*

LOCOMOTORAS SIN HOGAR.

Las locomotoras de vapor *sin hogar* han sido imaginadas sobre la base principal de eliminación del hogar de cada máquina y los numerosos inconvenientes que son la consecuencia de su empleo.

Como para el aire comprimido, se ha buscado el aislar el lugar de producción de la fuerza motriz de las numerosas máquinas locomotoras destinadas á emplearla sobre la vía pública.

Esto se ha conseguido por el empleo de la capacidad calorífica excepcional del agua, comunicándola una cantidad de calor suficiente para obtener la producción de vapor necesario para que cada máquina funcione.

Si fuese preciso, por una causa calorífica exterior al depósito, comunicar al volumen de agua la temperatura necesaria para obtener, antes de su partida, el resultado indicado anteriormente, presentaria en la práctica numerosas é insuperables dificultades. En efecto, el funcionamiento activo del hogar, obrando sobre la caldera antes de marchar, entrañaría complicaciones, gastos elevados é inconvenientes tan serios, que el resultado final no invítaria por sus ventajas á la adopción del procedimiento así combinado.

Es preciso, pues, comunicar al agua del depósito el calor necesario por otro medio más sencillo, más cómodo, y sobre todo, más económico. Este medio consiste en hacer pasar por el volumen de agua del depósito, antes de partir la máquina, una

corriente de vapor á alta presión que ceda todo su calor á medida que se vaya mezclando con el agua.

En virtud de este principio y sabiendo que el punto de ebullición, es decir, la temperatura correspondiente á la formación del vapor, aumenta y disminuye según que la presión aumente ó disminuya sobre la superficie del líquido calentado, resulta qne, en un recipiente cerrado, cuanto más se calienta el líquido, tanto más aumenta la presión sobre su superficie. Por consecuencia, si el calentamiento es producido por una corriente de vapor, éste calienta el agua y llena el espacio libre de encima de la superficie del líquído aumentando progresivamente la presión, aumento que precede siempre un poco al de temperatura del agua correspondiente, y que tiene por efecto retardar la ebullición y liquidar el vapor introducido,

Tal es el principio de la locomotora de vapor sin hogar.

Para aplicar este principio es suficiente, pues, montar sobre una locomotora un simple depósito cilíndrico, capaz de resistir á una presión que prácticamente puede variar entre *diez* y *quince* atmósferas.

El vapor es producido por calderas fijas establecidas en un lugar único; por medio de un manguito de tornillo sencillo y de maniobra rápida, el depósito de la locomotora, lleno de agua en sus tres cuartas partes próximamente, se pone en comunicación con el conducto general de las calderas de vapor. Para proveer al agua del calor que debe poseer á la partida se abren dos rubinetes; uno sobre el conducto de las calderas, otro sobre el depósito de la locomotora. El vapor á alta presión de las calderas fijas se precipita con fuerza en el interior del depósito. Por efecto de la disposición de pequeñas aberturas para la salida del vapor sobre un tnbo interior, colocado de un modo particular, el agua es agitada en diversos sentidos y con la snficiente violencia para repartir uniformemonte el calor.

Cuando hay equilibrio de presión entre las calderas y el depósito, se cierran los rubinetes y se corta la comunicación. La locomotora está entonces dispuesta para partir y el calor encerrado en el agua no tarda en provocar la ebullición desde que el espacio libre superior del depósito se pone en comunicación con los cilindros de una máquina de vapor.

El motor, pues, puede dar sobre los pistones, en trabajo mecánico, el equivalente aproximado del calor contenido en el agua entre los límites fijados por la práctica, límites que deben estar considerablemente separados el uno del otro; es decir, que la temperatura inicial del agua debe ser llevada tan lejos como sea posible, mientras que la temperatura final sea conducida al más bajo.

La temperatura inicial podrá estar colocada tan alta como lo permita el empleo del vapor á muy alta presión; en la práctica puede alcanzar á 200 grados, correspondiente á una presión de 15 atmósferas por lo menos.

La temperatura final deberá fijarse por la presión mínima, indispensable al motor para operar en los arranques igual que en las pendientes. Como el arranque no es más que cuestión de ejercer un esfuerzo, es posible siempre producir este esfuerzo por medio de las disposiciones especiales del mecanismo. Se puede, pues, admitir una temperatura final de 135 grados, correspondiente á la presión de 3 atmósferas.

En estas condiciones, el vapor puede obrar á baja presión y á gran espansión si se quiere, alcanzándose así el mayor efecto útil.

Este vapor puede evidentemento obrar, en caso extremo, con una energía más considerable, por el empleo de mayor presión sobre los pistones, cuando, durante el trayecto, se presente una resistencia accidental más fuerte. Es suficiente, para esto, maniobrar el resorte de un espansor de vapor dispuesto entre el depósito de agua caliente y otro depósito más pequeño

cuyo objeto es distribuir el vapor á una presión constante sobre los pistones.

Estando ya indicada la base general del sistema de la locomotora de vapor sin hogar, sólo nos queda por dar á conocer la teoría. Después de ésta, examinaremos el mérito del sistema con relación á las condiciones del programa, como lo hemos hecho ya para las otras locomotoras.

TEORÍA DE LA LOCOMOTORA SIN HOGAR.

La teoría de la locomotora sin hogar, que va á continuación, ha sido dada últimamente por Mr. Piarron de Mondésir, eminente Ingeniero en jefe de puentes y caminos. No podemos hacer nada mejor, para demostrar el valor técnico del sistema de que se trata, que tomar de Mr. de Mondésir los cálculos y la opinión cuya autoridad está por encima de todas las demostraciones que pudiéramos hacer nosotros mismos.

Dejemos la palabra al sabio ingeniero:

. . . . «Por mi parte, yo veo en esta innovación un cierto porvenir. Parece aplicable, no solamente á los tranvias, sino también á los ferrocarriles de vía estrecha y á los ferrocarriles de vía única del sistema Larmanjat, que vamos á ver quizás próximamente establecerse sobre nuestras carreteras para servir económicamente á los intereses locales.

Por esto es por lo quo yo me he propuesto someter la cuestión al cálculo.

Los estudios que he hecho, sobre el vapor de agua, bajo el punto de vista mecánico, y que son todavia inéditos, me han permitido abordar este problema interesante. He basado la solución sobre dos fórmulas teóricas que extraigo de la *Continuación de los diálogos sobre la mecánica*, obra que me propongo publicar en próximo plazo.

Estas dos fórmulas son:

$$(1)\ K = 600 + \frac{U}{3}; \quad (2)\ y\,z\,V = E\left(30 + \frac{U}{9}\right)$$

K, número de calorias contenidas en un kilogramo de vapor á U grados;

y, número de atmósferas absolutas del vapor saturado á U grados.

V, volumen ocupado por un kilogramo de vapor saturado á la temperatura de U grados y la presión y;

z, presión atmosférica por metro cuadrado;

E, equivalente mecánico del calor.

La fórmula teórica (1) concuerda todo lo que es posible con las experiencias calorimétricas de M. Regnault, que están resumidas en la fórmula empírica conocida.

$$R_1 = 606,50 + 0,305\ U.$$

La fórmula teórica (2) da el valor, en función de la temperatura U_1 del número de kilográmetros contenido en el almacén del trabajo elástico $y\ z$ V, es decir, de la cantidad de trabajo dinámico que se encuentra almacenada en 1 kilogramo de vapor saturado á la temperatura U y á la presión y.

Esta fórmula concuerda perfectamente con el cuadro de las célebres experiencias de Dulong y Arago tal como se ha publicado en el *Formulario* de Claudel.

Hago constar aquí desde luego que las dos fórmulas teóricas, que me han de servir de punto de apoyo para establecer una teoría sencilla y práctica de la locomotora sin hogar, están en perfecto acuerdo con las experiencias sobre el vapor de agua.

Empiezo considerando el aparato del doctor Lamm.

En el momento de partida, el recipiente contiene un cierto peso P_0 de aguacaliente á U_0 grados, más un cierto peso p_0 de vapor saturado á esta misma temperatura.

En el momento de llegada, el recipiente no contiene más que un peso P_1 de agua, cuya temperatura ha descendido de U_0 á U_1 grados, más un peso p_1 de vapor saturado á U_1 grados.

Se comprende *á priori*, y sin el concurso de cálculo alguno, que el efecto dinámico que se ha propuesto obtener con el nuevo aparato será tanto más completo cuanto que el peso inicial P_0 sea mayor. Hay pues, necesidad de llenar á la partida el recipiente con la mayor cantidad de agua posible, no reservando al vapor saturado más que el espacio estrictamente necesario para el buen funcionamiento del aparato.

En la aplicación hecha en Nueva-Orleans, el recipiente cilíndrico presenta una sección de $0^{mc},65$ con una longitud de $2^{m},70$, lo que da un volumen de 1,755 litros. Cuando se carga este recipiente para la marcha, se introducen 1.625 litros de agua, no dejando más que 130 litros de espacio libre para el vapor. Siendo la temperatura inicial U_0 de 193 á 194 grados, que corresponden á 13 atmósferas, y el volumen ocupado por 1 kilogramo de vapor satu-

rado á esta presión, de 164 litros, se ve que el peso inicial p_0 del vapor no es más que $0^k,80$ aproximadamente, y que la razón $p_0 : P_0$ de los pesos del vapor y del agua no alcanza más que dos milésimas.

No se puede pues, despreciar en la aplicación del cálculo, el peso inicial p_0, del vapor, sin temor á un error grave.

Lo mismo sucede con el peso final p_1, que siempre es más pequeño p_0, aunque el volumen que ocupa sea mayor.

Este hecho no es evidente *á priori*; pero es fácil hacer resaltar su exactitud por un ejemplo, haciendo $U_1 = 135$ grados, lo que corresponde á 3 atmósferas, y admitiendo, lo que veremos se verificará más tarde, que el peso P_1 sea sensiblemente igual á $\frac{8}{9} P_0$ en estas condiciones.

Se observa entonces que en un recipiente como el de Nueva-Orleans, el volumen ocupado por el peso p_1 de vapor es igual á $130 + \frac{1.625}{9} = 311$ litros. Y como el volumen ocupado por 1 kilogramo de vapor saturado á 135 grados es de 620 litros, se ve que el peso p_1 es de $0^k,50$ aproximadamente, mientras que el peso p_0 es de $0^k,80$.

Pido perdón al lector por este trabajo numérico preliminar que quizás le parezca un tanto fastidioso; pero yo tiendo á demostrarle que se puede, con toda seguridad, omitir el peso de vapor saturado que completa la capacidad del recipiente, cuando se trata de aplicar prácticamente el cálculo al caso de un recipiente casi enteramente lleno de agua al partir.

Estando admitido este punto, voy á calcular desde luego el peso $P_0 - P_1$ de vapor que puede alimentar el aparato cuando la temperatura desciende de U_0 á U_1 grados.

En mi análisis no tendré en cuenta ni la variación de densidad del agua, ni la variación de su calor específico entre los límites de temperatura U_0 y U_1. Estas variaciones son muy pequeñas, y no están, por otra parte, exactamente conocidas, viniendo pues, inútilmente á complicar el cálculo.

Sea, al fin del tiempo t, P el peso del agua restante en el recipiente, y U su temperatura. Al fin del tiempo $t + dt$, el peso del agua será $P - dP$, y la temperatura $U - dU$.

La pérdida de calor sufrida por el recipiente en el instante dt será:

$$P U - (P - dP)(U - dU) = P\,dU + U\,dP,$$

despreciando el infinitamente pequeño del segundo orden $dP\,dU$.

Esta cantidad de calor ha sido empleada para producir un peso d P de vapor á la temperatura U.

Puedo sentar pues, con arreglo á la ecuación (1),

$$(3)\ \mathrm{P}\, d\, U + U\, d\, \mathrm{P} = d\, \mathrm{P}\left(600 + \frac{U}{3}\right);$$

ó sea después de reducida

$$(4)\ \frac{d\,\mathrm{P}}{\mathrm{P}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{d\,U}{900 - U}$$

La integración dá

$$l.\ \mathrm{P} = \frac{3}{2}\, l.\,(900 - U) + \mathrm{C}.$$

Para determinar la constante C. es preciso hacer

$$\mathrm{P} = \mathrm{P}_0 \text{ y } U = U_0,$$

lo que dá

$$\mathrm{C} = l.\ \mathrm{P}_0 - \frac{3}{2}\, l.\,(900 - U_0)$$

Se obtiene entonces sucesivamente:

$$l.\ \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{P}_0} = \frac{3}{2}\, l.\ \frac{900 - U_0}{900 - U},$$

$$(5)\ \mathrm{P} = \mathrm{P}_0 \left(\frac{900 - U_0}{900 - U}\right)^{\frac{3}{2}},$$

$$(6)\ \mathrm{P}_0 - \mathrm{P} = \mathrm{P}_0 \left\{1 - \left(\frac{900 - U_0}{900 - U}\right)^{\frac{3}{2}}\right\},$$

$$(7)\ \mathrm{P}_0 - \mathrm{P}_1 = \mathrm{P}_0 \left\{1 - \left(\frac{900 - U_0}{900 - U_1}\right)^{\frac{3}{2}}\right\},$$

Voy á proponerme no obstante evaluar el trabajo dinámico útil que se puede lograr de este peso $\mathrm{P}_0 - \mathrm{P}_1$, de vapor, haciéndole obrar, como en una locomotora ordinaria, sobre un pistón cuyo movimiento de vaivén determina el movimiento de rotación de las ruedas motrices.

Si fuese posible utilizar mecánicamente toda la potencia elástica contenida en 1 kilogramo de vapor á U grados, la fórmula (2) nos indica que se podria obtener una suma de kilográmetros igual á

$$\mathrm{E}\left(30 + \frac{U}{9}\right)$$

Esta evaluación teórica comprende la acción ejercida sobre la presión atmosférica. No conviene ella, pues, sino en los casos en que el vapor esté condensado *completamente* después de haber producido todo su efecto dinámico sobre el pistón.

La evaluación teórica que conviene á un motor de alta presión, como la locomotora ordinaria, está dada por la expresión

$$E\left(\frac{y-1}{y}\right)\left(30+\frac{U}{9}\right),$$

en la que y designa la presión absoluta correspondiente á U grados.

En fin, la evacuación práctica conveniente para un motor de alta presión será

$$x\,E\left(\frac{y-1}{y}\right)\left(30+\frac{U}{9}\right),$$

designando por x un coeficiente de reducción por medio del que se tendrán en cuenta en globo las pérdidas de calor por radiación y las resistencias pasivas del mecanismo.

Expuesto esto, hago notar que el peso de agua evaporada al terminar el tiempo t siendo $P_0 - P$, el peso diferencial del vapor producido durante el momento siguiente á $d\,t$ tiene por valor $-\,d\,P$.

El trabajo mecánico teórico diferencial, expresado en calorías, es pues,

$$-\left(30+\frac{U}{9}\right)d\,P;$$

y el trabajo mecánico práctico y útil, expresado en kilográmetros,

$$-\,x\,E\left(\frac{y-1}{y}\right)\left(30+\frac{U}{9}\right)\,d\,P.$$

Para poder integrar esta última expresión, sería preciso conocer la relación teórica que debe existir entre la presión y y la temperatura U del vapor saturado.

Pero como esta relación teórica no existe todavía, voy á limitarme á integrar la expresión

$-\left(30+\frac{U}{9}\right)\,d\,P$, reservándome el calcular á continuación el valor medio de la fracción $\frac{y-1}{y}$ para los valores determinados de U_0 y de U_1.

Designando por D el trabajo mecánico del peso de vapor $P_0 - P$, entre los límites teóricos U_0 y U, tendré

$$(8)\quad d\,D = -\left(30+\frac{U}{9}\right)d\,P;$$

ó sea á causa de la ecuación (3)

$$(9)\quad \begin{cases} d\,D = -\,30\;d\,P - \dfrac{P\,d\,U + U\,d\,P}{3} \\ +\,200\;d\,P = 170\;d\,P - \dfrac{P\,d\,U + U\,d\,P}{3}. \end{cases}$$

La integración da

$$(10)\quad D = 170\,P - \frac{P\,U}{3} + C.$$

Para determinar la constante C, observo que el trabajo es nulo para $P = P_0$ y $U = U_0$, lo que dá

$$C = \frac{P_0 U_0}{3} - 170 P_0$$

Obtengo, pues, finalmente

$$(11)\ D = \frac{P_0 U_0 - P U}{3} - 170 (P_0 - P).$$

El trabajo dinámico teórico del peso de vapor $P_0 - P_1$, entre las temperaturas extremas U_0 y U_1, es, pues, en calorías,

$$(12)\ D_1 = \frac{P_0 U_0 - P_1 U_1}{3} - 170 (P_0 - P_1);$$

ó sea reemplazando P_1 en función de P_0 por medio de la ecuación (5),

$$(13) \left\{ \begin{array}{l} D_1 = P_0 \left[\frac{U}{3} - \left(\frac{900 - U_0}{900 - U_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right. \\ \left. \times \frac{U}{3} - 170 \left\{ 1 - \left(\frac{900 - U_0}{900 - U_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \right] \end{array} \right.$$

Tales son las fórmulas que darían, en calorías, el valor del trabajo dinámico teórico que puede dar un peso $P_0 - P_1$ de vapor cuya temperatura descendiese sucesivamente de U_0 á U_1 grados.

Antes de ir más lejos, quiero transformar las fórmulas algebráicas (7) y (12) en fórmulas numéricas, dando á las temperaturas extremas U_0 y U_1 los valores de 193 y de 135 grados, que corresponden á las presiones de 13 y de 3 atmósferas, y que juzgo estén en buenas condiciones prácticas.

La fórmula (7) viene entonces á ser

$$P_0 - P_1 = P_0 \left\{ 1 - \left(\frac{707}{765} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} = P_0 \times 0,\ 1.115;$$

ó sea en números redondos,

$$(14)\ P_0 - P_1 = \frac{P_0}{9};$$

expresión sencilla y fácil de retener.

En cuanto á la fórmula (12), haciendo $P_1 = \frac{8}{9} P_0$, resulta

$$(15)\ D_1 = P_0 \left(\frac{U}{3} - \frac{8}{9} \cdot \frac{U_1}{3} \right) - P_0 \times \frac{170}{9} = P_0 \times 5{,}444.$$

Designo mientras tanto por T_1 el trabajo dinámico práctico, expresado por kilográmetros, para un motor de alta presión, y por y'' la presión media del vapor saturado, cuando esta presión desciende de 13 á 3 atmósferas, y escribo:

$$T_1 = x\,E\left(\frac{y''-1}{y''}\right) D_1 = x\ E\left(\frac{y''-1}{y''}\right) P_0 \times 5.444.....$$

Si calculo y'' por la media aritmética de las presiones extremas, obtendré

$$y'' = \frac{y_0 + y_1}{2} = \frac{13+3}{2} = 8 \text{ atmósferas.}$$

Si tomo y'' la presión correspondiente á la media aritmética de las temperaturas extremas 193 y 135 grados, ó sea á 164 grados, tendré, según las tablas,

$$y'' = 6{,}77 \text{ atmósferas.}$$

Estos dos valores son bien diferentes el uno del otro.

Pero se puede calcular exactamente la temperatura media U'' del vapor saturado, cuando esta temperatura baja de U_0 á U_1 grados.

Vamos á ver cómo es superior á la media aritmética $\frac{1}{2}(U + U_1)$.

La temperatura media U'' la dá la ecuación

$$(16)\ P_0\,U_0 - P_1\ U_1 = (P_0 - P_1)\left(600 + \frac{U''}{3}\right),$$

que expresa que la cantidad de calor perdida por el agua ha sido empleada en producir un peso $P_0 - P_1$ de vapor á la temperatura media U''.

Reemplazando P_1 en función de P_0 por medio de la ecuación (7) se obtiene sucesivamente:

$$(17)\ \frac{U''}{3} = \frac{U_0 - \frac{P_1}{P_0}\,U - \left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right) 600}{1 - \frac{P_1}{P_0}};$$

$$(18)\ U' = \frac{3\ U_0\,(900 - U_1)^{\frac{3}{2}} - 3\ U_1\,(900 - U_0)^{\frac{3}{2}}}{(900 - U_1)^{\frac{3}{2}} - (900 - U)^{\frac{3}{2}}} - 1.800$$

Tal es el valor exacto de la temperatura media U''.

Entre los límites de 193 y de 135 grados, la fórmula (17) dá

$$U'' = 3\ \frac{193 - \frac{8}{9} \times 135 - \frac{1}{9} \times 600}{\frac{1}{9}} = 171 \text{ grados.}$$

Esto es, 7 grados más que la media aritmética.

Tomando ahora para y'' la presión correspondiente á 171 grados, se encuentra:

$y'' = 7{,}75$, según Dulong y Arago;
$y'' = 8$, según M. Regnault.

Esto nos indica que se puede, sin un error sensible, tomar para la presión media y'', la media aritmética $\frac{1}{2}(y_0 + y_1)$ es decir, para el caso que nos ocupa, la fracción $\frac{7}{8}$.

Adoptaré desde luego, para el coeficiente de reducción x, la fracción $\frac{3}{4}$, que me dará.

$$x\left(\frac{y''-1}{y''}\right) = \frac{3}{4} \times \frac{7}{8} = \frac{21}{32}$$

Tomo en fin para E la cifra de 425, que se emplea habitualmente y obtengo finalmente para el trabajo dinámico útil T_1,

$$T_1 = 425 \times \frac{21}{32} \times P_0 \times 5.444..... = P_0 \times 1.518.$$

Para no exagerar, escribiré en números redondos:

$$(19)\ T_1 = 1.500 \times P^0\ (*).$$

He llegado, apoyándome en dos fórmulas teóricas (1) y (2), á las dos fórmulas sencillas y prácticas que quería

$$P_0 - P_1 = \frac{P^0}{9} \qquad D_1 = 1.500 \times P_0,$$

y que son aplicables entre los límites termométricos de 193 y de 135 grados.

Ellas nos indican que entre estos límites cada kilogramo de agua caliente contenida desde un principio en el recipiente dará $\frac{1}{9}$ de kilogramo de vapor y un trabajo dinámico útil de 1.500 kilográmetros.

Voy ahora á aplicar estos resultados á la tracción sobre un tranvía ó un ferrocarril de vía estrecha.

Designo por Ω el peso del tren, por L la distancia que ha' de recorrer, por H la suma de las subidas que presenta el camino en la distancia L y en el sentido del recorrido.

Se admite ordinariamente que el esfuerzo de tracción para un tranvía, en buen estado de conservación, es de 10 kilógramos por tonelada en terreno horizontal y en línea recta. Para tener en cuenta las curvas, tomaré la cifra de 11 kilógramos por tonelada,

(*) En las experiencias de Seraing, se ha demostrado evidentemente la obtención de un trabajo útil de 1.600 kilográmetros, medido sobre los pistones, por cada kilógramo inicial de agua y de vapor, en los límites termométricos de 186°,50 y de 136°,50,....

y evaluaré las partes en pendiente como horizontales, bajo el punto de vista de la tracción.

Dado esto, claro está que el trabajo dinámico necesario para remolcar el tren cuyo peso es Ω, sobre la distancia L, se compondrá:

1.° Del trabajo $\Omega \times 0{,}011 \times 4$ necesario para remolcar el tren en la distancia L, suponiendo el trayecto horizontal.

2.° Del trabajo $\Omega \times H$ necesario para subir el peso Ω á la altura H.

Por otra parte, el trabajo dinámico que puede abastecer el recipiente siendo igual á $1.500 \times P_0$, tendremos la ecuación:

$$(20)\quad P_0 = \frac{(0{,}011 \times L + H)\ \Omega}{1.500},$$

aplicable á los tranvías.

Para un ferrocarril de vía estrecha, me parece conveniente adoptar el coeficiente de tracción de 6 kilógramos por tonelada, para los trozos rectos y llanos, y el de 7 kilógramos para tener en cuenta las curvas.

La ecuación aplicable á los ferrocarriles de vía estrecha, será, pues,

$$(21)\quad P_0 = \frac{(0{,}007 \times L + H)\ \Omega}{1.500}$$

Conocidos el perfil y la longitud del ferrocarril que se ha de recorrer, las ecuaciones (20) y (21) servirán para determinar, bien el peso P de agua caliente necesaria para remolcar un tren del peso dado Ω, bien el peso Ω del tren que se podrá remolcar con un peso dado P de agua caliente.

Como ejemplo de tracción de un tranvía, tomo L = 10 kilómetros, H = 50 metros y Ω = 10 toneladas.

El peso P_0, dado por la fórmula (20), será

$$\frac{(0{,}011 \times 10.000 + 50)\ 10.000}{1.500} = 1.066 \text{ kilógramos.}$$

ó sea en números redondos..... 1.100 kilógramos.

Así, sobre un tranvía de 10 kilómetros de longitud, presentando un total de subidas de 50 metros, lo que equivale á una rampa continua de $0^m{,}005$ por metro, un tren de 10 toneladas podrá ser remolcado con un recipiente que contenga al partir $1^{mc}{,}10$ de agua caliente á 193 grados.

En este caso habrá producción de 122 kilogramos de vapor entre los límites de 193 y de 135 grados, y un desarrollo de trabajo mecánico de 1.600.000 kilográmetros.

Aplico ahora la fórmula 21 á un ferrocarril de vía estrecha de 25

kilómetros de longitud, y con un total de subidas igual á 90 metros. Considero de antemano el peso del tren en 50 toneladas.

El peso P_0 será dado por la fórmula numérica

$$P_0 = \frac{(7 \times 25 + 90) \times 50.000}{1.500} = 8.833 \text{ kilógramos.}$$

ó sea en cifras redondas.

$$P_0 = 9.000 \text{ kilogramos.}$$

Asi, sobre un ferrocarril de via estrecha cuyos accidentes del perfil longitudinal equivaldrian á una rampa continua de 0,0036, un tren de 50 toneladas podrá ser remolcado en una distancia de 25 kilómetros, con un peso inicial de 9 toneladas.

Habrá necesidad, en este caso, de la formación de 1.000 kilógramos de vapor y producción de un trabajo mecánico útil de 13.500.000 kilográmetros.

En los cálculos que preceden, no entrań para nada ni la adherencia ni la velocidad.

La adherencia debe ser proporcionada al peso del tren y á la inclinación de la mayor pendiente. Siempre se podrá obtener, haciendo gravitar el peso del recipiente sobre las ruedas motrices, y como este peso no disminuye más que una novena parte próximamente durante la marcha, la adherencia no variará más que dentro de muy próximos limites.

Teóricamente, el trabajo dinámico que el vapor debe desarrollar para arrastrar el tren á una distancia dada, es independiente de la velocidad.

Pero no es asi en la práctica, atendiendo á que las resistencias pasivas van en aumento con la velocidad, como lo demuestra la experiencia de los trenes expresos en los ferrocarriles.

Sin embargo, como la velocidad, sea en un tranvia, sea en un ferrocarril de interés local, debe estar comprendida entre los limites de 10 á 25 kilómetros por hora, he creido que se podria aplicar el mismo coeficiente de reducción x en los dos casos.

M. Malézieux nos enseña que en el pequeño tranvia de Nueva-Orleans, la locomotora *sin hogar* marcha con una velocidad superior á la de los caballos, velocidad que, no obstante, no excederá de 12 kilómetros por hora.

¿Se podrá obtener del nuevo aparato para el servicio de los ferrocarriles vecinales, una velocidad de 25 á 30 kilómetros por hora?

Esto es sobre todo una cuestión de evaporación.

En el ejemplo que acabo de citar, para alcanzar la velocidad de 25 kilómetros por hora, el aparato deberia poder evaporar 1.000

kilógramos de agua por hora, es decir, la novena parte del peso de agua inicial.

¿Podrá obtenerse esta velocidad de evaporación que es necesaria para la aplicación á los ferrocarriles vecinales ó de interés local?

Es probable; pero sólo la experiencia podrá darnos resuelto punto de tantísima importancia.»

Una locomotora de vapor *sin hogar*, construida en las cercanías de París, pero cuya construcción deja mucho que desear, ha sido experimentada en la linea de tranvías que va de San Agustín (Paris) á Neuilly. Las experiencias hechas sucesivamente con dicha máquina, han confirmado plenamente el resultado de los cálculos anteriores. La velocidad de evaporación es suficiente para alimentar los cilindros de la máquina, que funcionan á razón de 20 kilómetros por hora próximamente.

Dicho esto, veamos hasta dónde, la locomotora *sin hogar* es susceptible de satisfacer las condiciones del programa.

a.—Las máquinas *sin hogar* que funcionan en los Estados Unidos, están dispuestas de dos maneras diferentes. Las unas obran por un solo eje motor colocado detrás y se dirigen por delante, ó por un bastidor móvil de cuatro ruedas, ó bien por un solo eje director; las otras están montadas sobre dos ejes acoplados que obran juntos.

En el primer caso, es fácil á dichas locomotoras circular por curvas de pequeño radio; pero entonces falta la necesaria adherencia para franquear las fuertes pendientes. En el segundo, la adherencia se obtiene por el peso completo de la locomotora; pero la circulación en las curvas es menos fácil, bien que en los Estados Unidos el perfil de la garganta de los carriles de los tranvias es más favorable que en cualquiera otra parte.

Con la garganta estrecha de los carriles de tranvías generalmente adoptados en Europa, no sería posible hacer circular, en curvas de 20 metros de radio por ejemplo, las máquinas

americanas que tienen los dos ejes acoplados, sin articulación entre sí. Esto se conseguirá quizás, por un medio que se ha practicado últimamente para ayudar en la circulación de las curvas á las máquinas de aire comprimido, medio experimentado en el trayecto de Courbevoie á la Place de l'Etoile.

Pero este medio no puede convenir más que en casos particulares, ni puede adoptarse en serio para hacer de él una aplicación general. En efecto: las curvas del radio de 20 metros necesitarían tipos especiales de carriles, un material en extremo vario y complicado para la construcción de la vía; en fin, todas las curvas habrían de estar establecidas sobre una plantilla uniforme. Todas estas condiciones, pues, son malas y no pueden en manera alguna ser tomadas en consideración, cuando de lo que se trata es de establecer ferrocarriles ó tranvías baratos. Tiene, por otra parte, el sistema, los inconvenientes de producir rebordes y depresiones que alteran mucho el perfil del camino ocupado, cosa que las más de las veces no consiente el Ministerio de Obras públicas.

Conviene hacer notar, además, que el empleo del carril plano, usado ya antes por Laignel, no constituye un remedio suficiente para los efectos múltiples sobre las ruedas motrices, de las fuerzas centrífuga y tangencial que destruyen mucho las zapatas de las ruedas, los carriles, los principales órganos del motor, las cajas de grasa, etcétera.

No es, pues, á la vía á la que hay que pedir los medios de combatir las causas de los descarrilamientos y deterioro del material. Este resultado sólo puede obtenerse adoptando disposiciones especiales en las partes constitutivas de las máquinas. La vía debe estar dentro de condiciones sencillas y regulares y debe llenar las exigencias del servicio de las carreteras que haya de ocupar: la máquina locomotora únicamente, es la que está llamada á sufrir una transformación.

Partiendo de esto, y para obtener este resultado, es por lo

que hemos combinado un sistema especial de articulación entre sí de los bastidores, ejes, engrasadores y bielas de acoplamiento, sistema que ha sido aplicado á la lomotora *sin hogar* experimentada en Neuilly, á una velocidad variable entre 10 y 18 kilómetros por hora, sobre una vía ordinaria de tranvías. La máquina circuló con gran facilidad sin descarrilar por agujas y por curvas correspondientes á un radio de menos de 20 metros.

Un coche de tranvías en que los descarrilamientos son frecuentes por la tracción animal, fué enganchado detrás de la máquina, y pudo tan fácilmente como ella franquear las curvas y las agujas, á pesar de los numerosos defectos de la vía.

b.—Se ha demostrado ya en el capítulo consagrado á la máquina de aire comprimido, cuando se trataba del peso muerto y del volumen de las de este sistema, que para producir un trabajo dinámico de 4.800.000 kilográmetros, era preciso almacenar un volumen de 21 metros cúbicos de aire comprimido á 25 atmósferas. Al mismo tiempo se dijo que el sistema de locomotoras sin hogar, no exigía más que 3 metros cúbicos de agua caliente para producir el mismo trabajo.

La teoría de la *máquina sin hogar* prueba, en efecto, que 1 kilógramo de agua caliente entre los limites de 193 y 135 grados produce un trabajo de 1.500 kilográmetros, de donde resulta que, para producir un trabajo de 4.800.000 kilográmetros, es necesario utilizar un volumen de agua caliente de:

$$\frac{4.800.000}{1.500} = 3^{mc},200$$

Las experiencias hechas en Seraing en una locomotora de fábrica, defectuosa, han demostrado que un kilógramo de agua caliente, entre los límites de 186°,50 y 136°,50, puede producir un trabajo de 1.600 kilográmetros.

Si atendemos á los resultados de estas experiencias, es necesario entonces un volumen de:

$$\frac{4.800.000}{1.600} = 3^{mc},000 \text{ de agua.}$$

Este volumen de 3 metros cúbicos de agua está muy lejos de ser, como se ve, el enorme volumen de 21 metros cúbicos de aire comprimido. Es inútil insistir para hacer comprender que es imposible emplear depósitos de una capacidad total de 21 metros cúbicos en una locomotora; mientras que no es exagerado el hacerlo con depósitos de agua caliente, capaces para 3 metros cúbicos y más.

Por lo que precede, se ve con toda claridad que entre el sistema de *aire comprimido* y el sistema de *agua caliente,* es el último mucho menos voluminoso.

Refiriéndonos, además, á las conclusiones que hemos deducido anteriormente de la comparación entre las locomotoras con hogar y las de aire comprimido, podemos decir de igual modo que la máquina *sin hogar* es menos voluminosa que la máquina *con hogar.*

Quédanos sólo por demostrar que la locomotora *sin hogar* es todo lo menos voluminosa posible, y que, para trayectos cortos, de 15 á 20 kilómetros, por ejemplo, nada tiene que envidiar, bajo este aspecto, á la ordinaria de hogar.

En lo referente al peso, claro está después de lo que precede, que la locomotora de aire comprimido será pesada en proporción al de los depósitos, como también en razón directa de la presión del aire y de la capacidad total de los mismos. Los cálculos que hemos hecho con este objeto nos prueban que la sobrecarga enorme del metal de dichos depósitos es muy superior al peso de los depósitos de agua caliente, del condensador refrigerante, y de todo el conjunto de accesorios de las máquinas sin hogar. Supusimos entonces que el peso total de la caldera y del espansor de la locomotora de aire comprimido compensaba el correspondiente de los espansores y del recipiente intermediario de vapor de la locomotora sin hogar; en cuan-

to á los ejes, ruedas, bastidores, resortes, motor, etc., etc., son partes comunes á todos los sistemas y dependen directamente del peso principal de que acabamos de ocuparnos. No hay necesidad, pues, de insistir más sobre la materia; pero hagamos constar de una manera general que la locomotora sin hogar, comparada con la de aire comprimido, bajo el punto de vista del peso muerto, es la más ventajosa.

Si, por otra parte, se pone la locomotora sin hogar en paralelo con la locomotora de vapor con hogar, resulta de la comparación que la primera es más ligera que la segunda. En efecto, si la locomotora con hogar exige un volumen de agua mucho menor, está obligada, por el contrario, á llevar el agua fría, el combustible, el hornillo, el sistema tubular, la caja de humos, la chimenea, los aparatos de alimentación, todos los pesados y numerosos accesarios, en fin, que no se encuentran en ninguno de los otros sistemas, y sobre todo, en las locomotoras sin hogar.

En resumen; la locomotora sin hogar es, á igual potencia, la más ligera, la menos voluminosa de todas las locomotoras que hemos comparado aquí.

c.—Si importante es hacer circular fácilmente las locomotoras por las curvas más pequeñas, no lo es menos el darlas, cualquiera que sea el sistema, la mayor adherencia para la tracción sobre las pendientes.

Sabemos que se cae á veces en un círculo vicioso, es decir, que cuando una máquina se halla en condiciones para circular fácilmente por las curvas pequeñas, es impotente para subir las pendientes grandes, y viceversa.

El sistema de bastidores articulados, realiza el medio de utilizar la totalidad del peso de la máquina en la adherencia, sin perder su flexibilidad durante su funcionamiento en las curvas de pequeño radio.

d.—La máquina sin hogar puede funcionar hacia adelante

y hacia atrás á voluntad, sin el auxilio de las placas giratorias, por el hecho de la disposición simétrica del sistema de bastídores articulados, de que hemos tratado más arriba. En uno y otro sentido, la marcha se efectúa idénticamente y en las mismas condiciones; las curvas y las agujas pueden franquearse con la misma facilidad por un lado que por otro; el enganche de los vehículos puede hacerse por cualquiera de los extremos de la locomotora; el maquinista, en fin, puede trasladarse de uno á otro extremo de ésta, manejando por el lado que sea necesario, las palancas de cambio de marcha, del freno, del expansor, y la de introducción del vapor.

e.—Hay de común entre la máquina de aire comprimido y la locomotora sin hogar, la ventaja de poderse emplear toda clase de combustible. Produciéndose el vapor en un sitio único y en calderas fijas, es posible quemar combustibles sólidos, líquidos ó gaseosos, según la conveniencia que resulte de utilizar unos ú otros.

En muchas circunstancias y en numerosas y potentes industrias en que se deja escapar, sin utilidad alguna, el excedente de vapor de las calderas fijas, la locomotora *sin hogar* ofrece la preciosa ventaja de utilizar este vapor, para la tracción de productos ó de primeras materias en el interior de las fábricas y talleres, ó para unir los pequeños ramales con las grandes líneas de transportes.

f.—El gasto para la producción del vapor es menos elevado con el uso de la locomotora *sin hogar,* que con cualquier otro sistema. Hemos explicado ya por qué el sistema de aire comprimido da lugar á un gasto más elevado que el sistema de la máquina sin hogar; resulta lo mismo del examen á que hemos sometido con este propósito la locomotora con hogar, que gasta más combustible que la máquina sin hogar, tanto bajo el punto de vista de la cantidad, como bajo el de adquisición.

g.—La locomotora *sin hogar* no reclama, para sus maniobras, ni la presencia de un fogonero, ni la habilidad de un maquinista. La ausencia de hogar hace nulos en esta locomotora los servicios de un fogonero; el empleo común, tan familiar, del vapor, no reclama otras aptitudes que las de un maquinista ordinario.

h.—La maniobra de la locomotora *sin hogar* es sencilla, y esto se explica suficientemente por la ausencia del hogar y de todos los accesorios que reclaman, á cada instante, los cuidados más minuciosos y la mayor atención.

Los gastos de inspección y de vigilancia se reducen al mínimum, en razón del sistema de producción única del vapor y de la sencillez de las instalaciones que se reducen á una batería de calderas fijas provistas de sus aparatos de alimentación, y algunas veces de gasógenos, cuando se quiere utilizar la economía de la calefacción por gas.

i.—Los gastos de deterioro y conservación que provienen de las averías y de la acción destructiva del polvo y del barro de las carreteras, serán menos elevados que los mismos gastos ocasionados por los sistemas de aire comprimido ó de evaporación constante.

En efecto, estando la máquina propiamente dicha, así como todos los órganos delicados de la locomotora, colocados en una caja cerrada y sólida, las partes principales se hallan protegidas por una balaustrada circular contra todo choque que provenga, bien del encuentro con un coche, bien de un descarrilamiento, ó bien de cualquier otro accidente capaz de producir un deterioro lo bastante grave para impedir á la locomotora que continúe funcionando.

Por lo demás, no existen en la locomotora sin hogar los gastos de conservación que ocasionan en todas las locomotoras con hogar las incrustaciones, las cajas de fuego y humos, el sistema tubular y la acción destructiva del fuego en gene-

ral. Bajo este aspecto, siguen correspondiendo las ventajas á la locomotora de agua caliente.

j.—No es menester explicar por qué no hay que temer explosiones con el sistema de locomotoras sin hogar. La supresión de éste quita todas las causas de peligro que existen en las locomotoras de vapor ordinarias. Una vez calentada el agua por la introducción del vapor, la presión sólo puede descender y por tanto todos los riesgos desaparecen. Bajo el punto de vista de seguridad, ofrece este sistema, por consecuencia, el mayor número de ventajas.

k. l. m.—Puesto que el hogar no existe, no hay que temer los inconvenientes de la proyección de chispas, resplandor del hogar durante la noche, ni el de arrojar carbones incandescentes sobre la vía pública.

n.—Los purgadores se vacían silenciosamente en una caja cerrada que se abre por una llave al terminar el recorrido. Una gran parte del vapor del escape se condensa en un refrigerante de circulación de aire, y el resto se esparce en la atmósfera por un tubo especial de salida.

No hay, pues, que temer en la máquina sin hogar, los silbidos ni las causas principales que espantan á los animales.

o.—Resulta de lo que queda explicado ya, que la disposición adoptada en la construcción de la locomotora sin hogar permite al maquinista colocarse á voluntad en la parte de adelante ó detrás de la máquina, según que deba dirigir su marcha en uno ú otro sentido. Esto se ha tenido en cuenta al efecto de poner completamente al descubierto, ante los ojos del maquinista, la vía que ha de recorrer su máquina.

p.—El freno aplicado á la locomotora sin hogar es fácil de maniobrar, tanto delante como detrás. Actúa por ocho zapatas sobre las cuatro ruedas á la vez. Su prontitud y su energía son una estimable garantía bajo el punto de vista de seguridad en la circulación sobre la vía pública.

q.—El arranque, estando parada, le efectúa fácil y rápidamente. Además podrá hacerse en inmejorables condiciones en las pendientes, cuando para utilizar la gran espansión del vapor, el motor esté compuesto de tres cilindros, dos pequeños y uno grande, como en el sistema *Compound*. En marcha normal, el vapor de los pequeños se escapa al grande; en el momento de arrancar, la presión se ejerce al mismo tiempo en los tres cilindros y durante muy cortos momentos.

r. s. t.—Los inconvenientes del humo, la proyección de hollín y cenizas sobre la vía pública, y en fin, el olor del carbón, desaparecen con el sistema de la máquina *sin hogar*.

RECAPITULACIÓN GENERAL

Si se comparan los resultados de la locomotora *sin hogar* con los obtenidos por los sistemas de locomotoras de *aire comprimido* y de vapor *por combustión*, se notará la ventaja que tiene aquél sobre éstos con sólo leer lo que va á continuación:

a.—La locomotora *sin hogar* puede circular fácilmente por curvas de menos de *veinte metros de radio* y en las condiciones en que actualmente están establecidas las vías sobre las carreteras, mientras que las locomotoras de aire comprimido y de hogar no circulan con esa facilidad. El enganche de los coches es fácil, sencillo y cómodo.

b.—La locomotora *sin hogar* es relativamente ligera y poco voluminosa; es menos pesada qne las de los otros dos sistemas, y de mucho menos volumen que la máquina de aire comprimido.

c.—La locomotora *sin hogar* empleada como remolcador, puede emplear la totalidad de su peso en la adherencia sobre las pendientes por el acoplamiento de sus ejes sin perjudicar la condición primera del programa, mientras que las locomotoras de aire comprimido y con hogar, no tienen esta ventaja.

d.—La locomotora *sin hogar* evita en los tranvías y ferro-

carriles la instalación de placas giratorias: la máquina de aire comprimido reclama su empleo.

e.—La locomotora *sin hogar*, como la locomotora de aire comprimido, admite el uso de cualquier combustible en general: la locomotora *con hogar* exige un combustible escogido y costoso.

f.—La locomotora *sin hogar* es la que, á igual trabajo utilizable, consume menos combustible.

g.—La locomotora *sin hogar* y la de aire comprimido no necesitan más que el empleo de un maquinista cada una: la locomotora *con hogar* reclama los servicios de dos hombres especiales.

h.—El uso de las máquinas *sin hogar* que verifican con la mayor sencillez sus maniobras, necesita una vigilancia y una inspección poco rigurosas y por consecuencia menos dispendiosas.

i.—Los gastos de conservación, originados por el desgaste y las averías, son menos elevados con la locomotora *sin hogar* que con el empleo de cualquier otro sistema.

j.—Todo peligro de explosión desaparece con el empleo de la locomotora *sin hogar*. La locomotora de vapor con fuego puede, por el contrario, estallar.

k.—La locomotora de vapor provista de hogar proyecta chispas; las locomotoras de aire comprimido y las de vapor *sin hogar* no pueden proyectarlas.

l.—La locomotora *con hogar* puede asustar á los animales por el resplandor de su cenicero: las de aire comprimido y *sin hogar* no tienen este inconveniente.

m.—La locomotora *con hogar* puede algunas veces dejar caer carbones incandescentes sobre la vía pública, mientras que este hecho no puede producirse con los otros dos sistemas.

n.—La locomotora *sin hogar* no produce ningún ruido; la

de aire comprimido produce un silbido por el escape: en cuanto á la máquina de vapor ordinaria, puede dar lugar, por su estrepitosa marcha, á accidentes más ó menos graves.

o.—Los tres sistemas de locomotoras realizan la condición de poder colocar siempre al maquinista delante de la máquina y de frente á la vía pública.

p.—En cada uno de los sistemas el freno es potente y rápido. En las máquinas de aire comprimido y de hogar el freno se maneja por un solo lado; en las máquinas *sin hogar*, el freno puede hacerse funcionar por delante ó por detrás, á voluntad.

q.—Todos los sistemas pueden llegar á arrancar fácil y rápidamente.

r. s. t.—La locomotora con hogar produce humo, arroja hollín y cenizas y exhala un desagradable olor. Las locomotoras de aire comprimido y de vapor sin hogar no tienen estos inconvenientes.

RESUMEN

En resumen: las *locomotoras sin hogar* participan de las ventajas de los motores de aire comprimido y de vapor, sin tener sus inconvenientes.

La locomotora de aire comprimido no aprovecha las ventajas de la producción central del trabajo dinámico para dividirle y distribuirle en una serie de locomotoras, sin detrimento del coste de producción del trabajo utilizable; la *locomotora sin hogar,* por el contrario, aprovecha estas ventajas sin tener dicho inconveniente, y realiza la mayor economía posible que se pueda esperar de la aplicación de las locomotoras de vapor.

En efecto, este último sistema utiliza el vapor como si proviniese absoluta y directamente de una caldera, utilización que se hace sin pérdidas intermediarias entre la caldera fija de producción y el motor de la locomotora, porque el vapor que pasa

de las calderas al depósito de cada máquina, por la sola influencia de ser diferente la presión, se transforma realmente en calor al liquidarse para reaparecer enseguida en estado de vapor bajo la influencia de este calor.

Todos estos efectos físicos se verifican, puede decirse, sin pérdidas apreciables, salvo las originadas por el enfriamiento que se pueden atenuar. El calor que la liquefacción del vapor produce en el agua del depósito de cada locomotora, es un poco menos que el calor que ha sido utilizado en la caldera fija para la producción de este vapor. Esto supuesto, se sabe que este calor representa mucho menos en las calderas pequeñas de las locomotoras que en las calderas fijas; se sabe igualmente que en el sistema de aire comprimido, si el calor se utiliza bien en las calderas fijas, el trabajo acumulado por el aire comprimido se aparta considerablemente del trabajo gastado para comprimirle. De donde se puede deducir, y repetir de nuevo, que la *locomotora sin hogar* es *la más económica* de todas las máquinas locomotoras que hemos comparado.

Vamos á dar la prueba en el capítulo siguiente.

GASTOS DE TRACCIÓN

Antes de comparar eutre sí los gastos de tracción de cada uno de los tres sistemas de locomoción de que hemos hablado anteriormente, establezcamos el coste de la tracción *animal*, que nos servirá, una vez conocido, de base de comparación al apreciar los gastos de tracción que ocasiona el empleo de los diferentes motores mecánicos.

Para que nuestros cálculos puedan conducirnos á fijar conclusiones decisivas, no los estableceremos en la hipótesis, ni de un servicio activo como el de los tranvías, ni de un servicio menos complicado como el de los ferrocarriles rurales. Tomaremos, por ejemplo, una vía férrea, semi-tranvía, semi-ferrocarril vecinal, es decir, una línea destinada á unir un punto

cualquiera de una gran población con varios pueblos mucho menos importantes.

Supongamos el ferrocarril en cuestión en las condiciones siguientes:

Longitud de la vía, 10 *kilómetros.*

Carga bruta total para transportar en un sentido y en otro, tanto de viajeros como de mensagerías ó encargos y mercancías de todos géneros, 300 *toneladas* por día.

Carga bruta de cada tren, 10 *toneladas.*

Marcha del tren, 15 kilómetros por hora.

Los carriles están colocados sobre largueros, y enterrados en la carretera la mitad del recorrido; la otra mitad están colocados en saliente sobre la rasante del paseo.

El depósito está situado á la extremidad de la línea fuera de la población.

El total de subidas, en un sentido, es de 50 metros; lo que representa una rampa media contínua de 0'005 si no hacemos distinción entre mesetas y rampas.

El total de éstas en el otro sentido, es igualmente de 50 metros.

El máximum de los declives está fijado en 0'040.

La duración diaria del servicio en 15 horas.

Una vía férrea establecida con arreglo á las indicaciones que acabamos de enumerar, no presenta grandes dificultades de explotación; pero bajo el punto de vista de la tracción, los accidentes del perfil, la importancia de los transportes que se han de efectuar y la velocidad de los trenes, representan un término medio de la situación en que se hallan la mayor parte de las vías férreas establecidas sobre carreteras.

Estudiando y comparando entre sí los diferentes sistemas de locomoción aplicados á la tracción de un ferrocarril así establecido, esperamos lograr una comparación tan exacta como sea posible, sin necesidad de tener que multiplicar los ejemplos.

TRACCIÓN ANIMAL

Trabajo de los caballos.—Se sabe, por diferentes experiencias, que un caballo, remolcando una carga sobre una vía férrea rígida, bien establecida en horizontal, puede arrastrar 3.360 kilógramos á la velocidad de 15 kilómetros por hora, cuando el coeficiente de tracción no pasa de 0'004 en meseta.

En este caso, el trabajo que produce es de 50 kilográmetros.

El esfuerzo del caballo es siempre el mismo; la carga que ha de arrastrar varía según el coeficiente de resistencia. Si admitimos 0'005 para coeficiente de tracción sobre carriles salientes, rigidos, comprendida en dicha cantidad la resistencia de las curvas, y 0'011 para el coeficiente de tracción sobre carriles de tranvías, el coeficiente medio será:

$$\frac{0{,}005 \times 0{,}011}{2} = 0{,}008 \text{ ó } \frac{1}{125}$$

La carga que podrá arrastrar entonces un caballo, en horizontal, será:

$$3.360 \times \frac{0{,}004}{0{,}008} = 1{,}680 \text{ kilógramos.}$$

Esta carga puede también variar, según el grado de inclinación de la vía que se ha de recorrer.

Puesto que la vía tomada como ejemplo presenta una rampa contínua de 0'005 por metro, el trayecto servido por un caballo en estas condiciones se reducirá como consecuencia.

Para un grado de inclinación de $^1/_{200}$ ó de 0'005 por metro, la carga que puede arrastrar un caballo, á 15 kilómetros por hora, en horizontal, varía en razón inversa de las resistencias. Luego la resistencia á la rodadura en meseta es á la resistencia doble de rodadura y de la gravedad como 42 es á 100.

El caballo puede, pues, arrastrar sobre una rampa contínua de 0,005 á una velocidad de 15 kilómetros por hora,

1.680 × 0,42 = 705 kilógramos.

La experiencia indica que un caballo de trabajo que descansa un día cada ocho, recorre, durante cada uno de los otros siete días, 45 kilómetros 500 metros. La práctica deja ver, por otra parte, que de cien caballos mueren, efecto del cansancio y la fatiga, seis ó siete cada año.

Resulta de aquí que el recorrido útil de un caballo durante un día, es de

$$\frac{7}{8} \times \left(\frac{100 - 7}{100}\right) \times 45,{}^{k}5 = 37 \text{ kilómetros.}$$

Este recorrido diario parece muy reducido en relación al que verdaderamente puede desarrollar un caballo; pero aquello resulta de la velocidad y de las condiciones de tracción que hemos puesto antes, que son excesivas para un servicio por caballos.

Se obtiene evidentemente un gran trabajo útil del caballo cuando ejerce un esfuerzo regular con una velocidad moderada, y cuando se puede respetar la relación que debe existir, tomándola de la práctica, entre su esfuerzo y su velocidad, relación que en un servicio de tracción de ferrocarril, no puede observarse escrupulosamente sin perjuicio de la explotación.

Bajo este punto de vista la tracción animal deja mucho que desear, indicando su insuficiencia la necesidad de sustituirla por la tracción mecánica, necesidad que deja sentir más cada día el interés de aprovechar la economia que puede resultar de la aplicación de los motores inanimados.

Aceptemos el recorrido diario de 37 kilómetros, y busquemos el número de caballos precisos para efectuar la tracción.

Se puede deducir de lo que precede, que el trabajo diario del caballo, es:

$$37^{km} \times 705 \text{ kilog. ó } 26^{t},085 \text{ trasportadas á 1 kilómetro.}$$

Si se designa por P el número de toneladas de mercancías ó de pasajeros que hay que transportar por día, en una direc-

ción, á la distancia D; por C, la carga útil transportada por un caballo en un día, el número de caballos, será:

$$N = \frac{P \times D}{C}$$

P, carga diaria que hay que transportar por término medio en toda la longitud de la línea $= \frac{300}{2} = 150$ T.

D, distancia media del recorrido de estas 300 toneladas, es igual á dos veces 10 kilómetros, ó sea 20 kilómetros.

C, la carga útil transportada por un caballo en un día, es de 26,085 tons. kilométricas; admitamos sólo 26 toneladas.

Se tiene, pues:

$$N = \frac{150 \times 20}{26} = 115.$$

ó sea un número de 115 caballos.

Gastos de alimentación y de conservación de los caballos.—Para calcular los gastos de tracción por caballerías, es preciso tener en cuenta todos los que, de cerca ó de lejos, son susceptibles de sufrir modificaciones por la sustitución de los motores mecánicos.

La alimentación de un caballo de ómnibus ó de tranvías, cuesta actualmente 3 francos diarios.

Hay que añadir á esto los gastos de conservación, renovación, etc., para obtener el coste diario del caballo. Hélos aquí aproximados, para París:

Palafreneros.	0f 2946	
Dependientes para el relevo, mozos, cocheros.	0 5400	
Veterinarios y enfermería.	0 0222	
Agua.	0 0141	
Forraje.	0 1214	
Conservación y renovación de guarniciones.	0 0900	
		1f 0823
Importe de la manutención.		3 0000
Total.		4f 0823

Si un caballo cuesta 4,082 francos por día, el coste total por año para 115 caballos, será:

$$115 \times 4{,}082 \times 365 = 171.258 \text{ francos.}$$

No hemos tenido para nada en cuenta los gastos del personal administrativo, del servicio de viajeros, de las oficinas, etcétera, etc., no obstante de que en la organización de la tracción por caballos hay dependencias que, como la inspección y vigilancia, producen gastos mucho más elevados que en la aplicación de motores mecánicos, y que modificarían sensiblemente el resultado final que hemos de obtener en favor de los motores mecánicos, si no quisiéramos prescindir de ellos. Pero á fin de simplificar, y para dar más clara nuestra demostración, seguiremos considerando sólo los gastos más principales.

TRACCION POR LA LOCOMOTORA DE VAPOR
CON HOGAR

Trabajo de las máquinas.—Si la carga que hay que remolcar á la vez es de 10 toneladas, admitido que hay 150 toneladas que transportar en cada sentido, y que la duración del servicio es de 15 horas por día, podremos suponer que se habrán de formar en cada sentido 15 trenes de 10 toneladas cada uno, que partirán de hora en hora.

En este caso serán precisas, en servicio activo, dos máquinas locomotoras que supondremos tienen un peso de 6 toneladas cada una, y la suficiente adherencia para pendientes de 0,40.

El peso del tren con su locomotora será entonces de

$$10^t + 6^t = 16 \text{ toneladas.}$$

Si hay 15 trenes diarios que van en una dirección y 15 que van en la contraria, las dos máquinas unidas desarrollarán el trabajo necesario para arrastrar una carga total diaria de

$$2 \times 15 \times 16^t = 480 \text{ toneladas,}$$

á una distancia de 10 kilómetros.

Aplicando el coeficiente medio de tracción $\frac{1}{125}$ ó 0,008; haciendo la resistencia debida á la gravedad igual á 1 kilógramo por tonelada y por milímetro de pendiente, tendremos, en la hipótesis de una pendiente continua de 0,005, para el trabajo de tracción desarrollado en un día en la llanta de las ruedas motrices de las máquinas:

$$T = \left\{ \frac{480^{t}\ 000^{kg.} \times 1}{125} + (480^{t} \times 1 \times 5). \right\} \times 10.000 = 62.400,000 \text{ kilógramos.}$$

Puesto que las máquinas funcionan á la velocidad de 15 kilómetros por hora, y que hace cada una un recorrido total de quince viajes de 10 kilómetros ó sea 150 kilómetros por día, la duración total de su servicio efectivo será de

$$\frac{150}{15} = 10 \text{ horas.}$$

La fuerza en caballos de cada una de las dos máquinas será la siguiente:

$$\frac{62.400.000}{2 \times 10 \times 3.600 \times 75} = 11.5 \text{ caballos-vapor.}$$

Gastos.—Siendo el consumo medio de cok por cada caballo y hora en las locomotoras de los ferrocarriles 2,25 kilógramos próximamente, podemos, sin temor á equivocarnos, suponer que las pequeñas locomotoras fumívoras, para el servicio de las carreteras, gastarán por lo menos 3 kilógramos (1).

Las dos máquinas juntas consumirían, pues, durante las 10 horas de su servicio

$$2 \times 12^{\text{caballos}} \times 3^{\text{kg.}} \times 10^{\text{horas}} = 720 \text{ kilógramos.}$$

A esta cantidad se debe añadir el cok consumido para encenderlas y durante las paradas, consumo que puede calcularse en un 33 por 100 del principal, ó 1 kilógramo, por término medio, por cada caballo y hora.

(1) Si nos ciñésemos á los datos que se nos han proporcionado, el consumo sería por lo menos de 6 kilógramos para las máquinas de hogar ensayadas recientemente en París.

Para cinco horas, será:

$$2 \times 12^{\text{caballos}} \times 1^{\text{kg.}} \times 5 \text{ horas} = 120 \text{ kilógramos.}$$

De donde el consumo diario total de cok es:

$$720^{\text{kg.}} + 120^{\text{kg.}} = 840 \text{ kilógramos.}$$

Si fijamos el precio de 56 francos por tonelada de cok de buena calidad, puesto en París, el gasto de combustible por día será igual á:

$$0.840 \times 56 = 47'04 \text{ francos.}$$

Además de este gasto, se necesita para la conducción de las locomotoras por la vía pública, dos hombres; uno que dirija la máquina y vigile la vía, mientras que el otro se ocupa de engrasar, limpiar, alimentar y vigilar la caldera.

El *maquinista* gana 8 francos por lo menos diarios; el *fogonero*, 5.

El gasto total del personal para las dos máquinas, es por lo tanto, igual á:

$$(8 + 5) \times 2 = 26 \text{ frs. diarios.}$$

El consumo de aceite y de grasas puede evaluarse en 3 francos por día próximamente para cada máquina, ó sea para las dos:

$$2 \times 3 = 6 \text{ francos.}$$

El gasto por entretenimiento del sistema tubular y de las partes constitutivas de las calderas de las pequeñas locomotoras es de 19 céntimos por kilómetro recorrido, ó sea para las dos máquinas:

$$0,19 \times 150 \times 2 = 5,70 \text{ francos.}$$

El gasto por el lavado y limpieza de las máquinas que circulan por carreteras ordinarias es de 17 céntimos por kilómetro recorrido, siendo para las dos máquinas:

$$0,17 \times 150 \times 2 = 5,10 \text{ francos.}$$

Contemos aún, para gastos diversos, entretenimiento del mecanismo, alimentación de cok y de agua, etc., etc.:

$$3,03 \times 2 = 6,06 \text{ francos.}$$

Reuniendo los gastos de tracción de las dos máquinas, resulta el siguiente gasto diario:

Combustible (cok).	47 f 04
Maquinistas y fogoneros.	26 00
Aceite, grasas.	6 00
Entretenimiento del sistema tubular.	5 70
Gastos de lavado y limpieza de las máquinas y calderas.	5 10
Gastos de entretenimiento del mecanismo, alimentación de combustible, de agua y gastos diversos.	6 06
Total.	95 f 90

Este gasto no tiene nada de exagerado, puesto que la máquina que ha funcionado últimamente en París, en la línea de los tranvías de Saint-Germain-des-Prés, ha gastado relativamente más.

Si fijamos el gasto diario en cifras redondas en 96 francos, el gasto anual será:

$$96 \times 365 = 35040 \text{ francos.}$$

TRACCIÓN DE LA LOCOMOTORA DE AIRE COMPRIMIDO

Trabajo de las máquinas.—La tracción puede hacerse también por máquinas de aire comprimido colocadas absolutamente en las mismas condiciones de fuerza y de servicio que las máquinas de hogar en que acabamos de ocuparnos.

Supongamos para esto que el taller de compresión del aire se encuentra al extremo de la línea, fuera de la población; que los depósitos de la locomotora se cargarán, antes de partir, con un volumen de aire comprimido á 25 atmósferas, suficiente para efectuar un viaje de ida y vuelta, ó sea de 20 kilómetros por lo menos.

Sentado esto, calculemos el volumen que es necesario introducir en los depósitos de la máquina para que arrastre una carga de 10 toneladas durante el trayecto de 20 kilómetros.

Para esto conviene conocer aproximadamente el peso probable de los depósitos de aire de cada máquina.

De nuestros cálculos se deduce que el *peso* de estos depósitos será por *lo menos* la *enorme* cifra de 10.000 *kilógramos*. Si se le añade el peso del mecanismo, del bastidor, etc., se obtiene como peso total de cada locomotora 14.000 kilógramos próximamente.

El trabajo que es necesario desarrollar durante un viaje de ida y vuelta, sobre la llanta de las ruedas motrices, será pues:

$$T = \left\{(10^t \times 14^t)\frac{1}{125} + (10 \times 14^t \times 1^k \times 5^{mm})\right\} \times 20{,}000^m$$

$$= 6.240.000 \text{ kilográmetros.}$$

Si se admite que las resistencias pasivas de la máquina absorbe 40 por 100 del trabajo gastado por la expansión del aire, la cantidad de trabajo utilizable sobre los pistones será de:

$$6.240.000 + \left(6.240.000 \times \frac{40}{100}\right) = 8.736.000 \text{ kilográmetros.}$$

Luego si, como hemos dicho anteriormente, un metro cúbico de aire, en su expansión entre las presiones de 25 y 5 atmósferas, produce teóricamente, á temperatura constante, un trabajo de 748.530 kilográmetros sobre los pistones, los depósitos de aire deben contener por lo menos un volumen total de:

$$V = \frac{8.736.000}{748.530} = 11 \text{ metros cúbicos de aire.}$$

Como hay dos máquinas en servicio, y que deben hacer ambas diariamente quince viajes de ida y vuelta, el gasto total de aire comprimido es de

$$11^{mc.} \times 15 = 165 \text{ metros cúbicos de aire por día.}$$

Si es necesario emplear un trabajo de 748.530 kilográmetros para comprimir un metro cúbico de aire entre las presiones límites de 5 y 25 atmósferas, y si admitimos un rendimiento del 40 por 100 de los compresores (que es lo que resul-

ta para tan altas presiones), la máquina fija habrá de desenvolver el trabajo siguiente:

$$\frac{165 \times 748{,}540 + 100}{40} = 308{,}768{,}625 \text{ kilográmetros.}$$

Si admitimos que una potente máquina fija, de gran expansión y de condensación, consume 2 kilógramos de carbón por caballo y hora, el consumo total del combustible en un día para desarrollar el trabajo arriba indicado será:

$$2^{k} \times \frac{308.768.625}{75 \times 3.600} = 2.290 \text{ kilógramos.}$$

Siendo el precio del carbón, en general, de 30 francos la tonelada, importará diariamente el gasto de combustible

$$2{,}290^{t} \times 30 \text{ fr.} = 68'70 \text{ frs.}$$

O sea, en números redondos, 69 francos por día.

Podría ser exacto este gasto si el trabajo empleado para la compresión fuese integralmente utilizado por la expansión, y si el aire se mantuviese rigurosamente á una temperatura constante, elevándole ó disminuyéndole el calor de un modo regular durante la compresión y expansión.

Pero es difícil, si no imposible, alcanzar estos resultados en la práctica, por muchas precauciones que se tomen para evitar las variaciones de temperatura y para utilizar en su totalidad la expànsión del aire.

En consecuencia, establezcamos ahora el gasto real según lo demuestra la experiencia.

En los cálculos anteriores no hemos tenido en cuenta la fuerza de resistencia que opone la presión atmosférica durante el curso del pistón, y hemos supuesto un rendimiento de los compresores de 40 por 100.

Si dejamos aparte los cálculos de la influencia de los fenómenos caloríferos; si nos atenemos para más claridad y sencillez á los resultados constantes y recientes de la máquina

de aire comprimido de Courbevoie, de que se ha dado conocimiento á la *Sociedad de Ingenieros civiles* muy recientemente, el trabajo real utilizado sobre los pistones será sólo de 400.000 kilográmetros por metro cúbico de aire comprimido á 25 atmósferas. Podríamos discutir la exactitud de la cifra de 400.000; pero admitámosla como exacta.

No serían, pues, 11 metros cúbicos de aire los que habría que introducir en los depósitos, sino más bien

$$\frac{8.736.000}{400.000} = 21 \text{ metros cúbicos.}$$

Luego el volumen de aire que habría que emplear cada día sería

$$21 \times 15 = 315 \text{ metros cúbicos,}$$

y el trabajo necesario para la compresión:

$$\frac{315 \times 748.530 \times 100}{40} = 589.467.375 \text{ kilográmetros.}$$

Admitamos 600.000.000 de kilográmetros para de este modo compensar las pérdidas producidas por las fugas.

En fin, el gasto de combustible por día sería el siguiente:

$$2 \times \frac{600.000.000}{75 \times 3.600} = 4.444 \text{ kilógramos de carbón,}$$

que á razón de 30 francos la tonelada,

$$4,444 \times 30 = 133 \text{ francos por dia.}$$

Volvemos á repetirlo: este gasto corresponde al aprovechamiento de 50 por 100 aproximadamente del trabajo gastado para la compresión. Pero cuando por el cálculo se evalúa el rendimiento de las máquinas por las cuales se ha verificado, mediante consideraciones especiales, la compresión del aire bajo tan grande presión, para no utilizarlo enseguida más que bajo una presión mucho más pequeña, se demuestra que el método seguido en la aplicación del aire comprimido es defectuoso, y que el rendimiento notificado á la *Sociedad de Ingenieros civiles*

es inferior al que hemos puesto nosotros como base para calcular su gasto.

Los coeficientes de utilidad que hemos indicado más arriba han de mirarse como de resultados máximos, mientras se siga suponiendo, aunque en contra de la realidad de los hechos, que la temperatura del aire no varía durante la compresión, y que se restituye al empleado para la expansión la totalidad del calor que se desprende mientras que se le comprime.

Ya que conocemos el gasto principal del combustible consumido, nos queda que ver, en la hipótesis anterior, qué cantidad de calor es necesario comunicar al aire durante sus funciones sobre los pistones de cada máquina.

Si se le calienta por medio del vapor tomado de un volumen de agua calentada á 180 grados (10 atmósferas), es necesario que este vapor pueda producir tantas veces 2.247 calorías como metros cúbicos de aire se hayan de comprimir en un día, ó sea:

$$2.247^{\text{calorías}} \times 315^{\text{m. c.}} = 707.805 \text{ calorias.}$$

Como un kilógramo de carbón produce en la práctica, y en el caso especial de que nos ocupamos, 5.000 calorías próximamente, el combustible gastado será

$$\frac{707.805^{\text{ calorías}}}{5.000} = 141 \text{ kilógramos.}$$

á 30 francos la tonelada

$$0^{t}, 141 \times 30 \text{ fr.} = 4 \text{ fr. } 23.$$

El gasto total ocasionado para la tracción diaria por término medio, usando el aire comprimido, será, pues,

$$133 + 4 \text{ fr. } 23 = 137 \text{ frs. } 23.$$

Puesto que cada locomotora debe contener en sus depósitos 21 metros cúbicos de aire comprimido, veamos qué volumen de agua caliente es necesario aprovisionar en la máquina para hacer restituir al aire el calor que necesita para su expansión.

Cien litros de agua caliente producen 2.247 calorías por el vapor que se desprende entre los límites de 180 á 100 grados, y un metro cúbico de aire comprimido á 25 atmósferas desarrolla aproximadamente 2.247 calorías. Son precisos, pues, tantas veces 100 litros de agua, como metres cúbicos de aire haya que emplear, ó sea:

$$100 \times 21^{\text{m. c.}} = 2.100 \text{ litros de agua caliente.}$$

La locomotora de aire comprimido, para sustituir á la tracción por caballos, ocuparía, pues, un volumen de 21 metros cúbicos de aire, mas 2'100 metros cúbicos de agua caliente.

Es decir, un volumen total de *23 metros cúbicos* y *1 décima.*

Una locomotora que tuviese semejante volumen sería monstruosa y haría impracticable su aplicación.

No se obviará este inconveniente más que multiplicando los talleres de compresión, ó estableciendo distributores de aire comprimido sobre el trayecto de las lineas por medio de costosas canalizaciones. Pero una y otra hipótesis son igualmente inadmisibles, atendiendo á la economía, que debe presidir, ante todo, la adopción de cualquier sistema de tracción.

Será preciso, tarde ó temprano, hacer en París servicios de tracción de grandes longitudes sobre vías accidentadas y con cargas relativamente grandes. En este caso, si el motor ha de emplear un trabajo considerable, se preguntará cómo podrá satisfacerse en la práctica con las locomotoras de aire comprimido. La solución parece difícil ó irrealizable.

Las antiguas y modernas aplicaciones de aire comprimido han sido hechas sobre coches automotrices, con el objeto de reducir las resistencias pasivas del tren.

Las disposiciones que así se han adoptado son evidentemente racionales bajo este punto de vista; pero pueden dar, á menudo, origen á graves inconvenientes. Sea de ello lo que quiera, lo cierto es que no parecen lo más conveniente para

recorridos de 10 kilómetros, por ejemplo, con una carga de sesenta viajeros. En efecto, los depósitos de aire y de agua caliente, necesarios en estas condiciones, ocuparían el coche hasta el punto de no dejar espacio para los viajeros.

Pero no insistamos más sobre esto, y examinemos cuáles son los otros gastos de tracción de las locomotoras de aire comprimido.

Para hacer maniobrar cada locomotora es suficiente un solo maquinista con el sueldo de 8 francos por día, ó sea para dos maquinistas.	16 frs.
Para aceite y grasas, es necesario contar el consumo de las máquinas fijas y de las locomotoras. Admitamos como gasto total.	12 »
Las calderas, la máquina fija y los compresores ocuparán, por lo menos, cuatro hombres, que á 5 francos por término medio, son.	20 »

Los depósitos para contener el aire, los compresores, las transmisiones, la máquina fija, las calderas, en fin, todas las instalaciones especiales para el empleo del aire comprimido costarán por lo menos 200.000 francos, en la hipótesis de que los depósitos de acumulación tengan capacidad suficiente para hacer la carga con gran prontitud, sin gran aglomeración del material de locomoción en el depósito.

Calculemos el interés de esta suma al 7 por 100 ó sean 38 francos diarios.

Al interés únanse las cargas de amortización de 10 por 100 que son de 55 francos por día,

En cuanto á los gastos de lavado, limpieza y conservación del mecanismo de las máquinas, pueden calcularse en 2 francos por día.

Podríamos también meter en cuenta los gastos de reparaciones y conservación de los compresores, de la máquina, de los depósitos de acumulación de aire, y los gastos de alimentación de agua de los compresores. Si calculásemos minuciosamente todos estos gastos, el diario sería muy considerable, enorme;

pero, para no exagerar nada, y dejar subsistente á la economia de este sistema, reduzcámoslos á 20 francos solamente.

Ya dirá la experiencia cuánto más importan.

Si resumimos los gastos diarios de la tracción por las locomotoras de aire comprimido, tendremos:

Combustibles. . . . , ...	137	frs.	23
Maquinistas de las locomotoras.	16	»	»
Aceite y grasas.	12	»	»
Personal del depósito. , ...	20	»	»
Interés del capital para las instalaciones especiales.	38	»	»
Amortización de las instalaciones especiales. . .	55	»	»
Lavado y limpieza de las máquinas locomotoras. .	2	»	»
Gastos generales de conservación de las instalaciones del depósito, diversos, etc., etc.	20	»	»
Total.	300	frs.	23

Luego el gasto anual sería:

$$300 \text{ fr. } 23 \times 365 = 109.584 \text{ francos.}$$

El gasto total diario de 300 francos 23, supone un precio al metro cúbico de aire de 0 francos 95, mientras que para los trabajos del Saint-Gothard, el metro cúbico de aire comprimido por el vapor, ha costado *1 franco* para presiones muy inferiores á 25 atmósferas. Hemos, pues, al hacer los cálculos, más bien disminuido que aumentado con relación al coste real.

Pasemos ahora á la apreciación de los gastos de tracción de las locomotoras sin hogar ó de agua caliente.

TRACCIÓN POR LA LOCOMOTORA SIN HOGAR

Trabajo de las máquinas.—Las locomotoras sin hogar pueden ser igualmente dos para hacer la tracción de ferrocarril que hemos tomado como ejemplo. El peso de cada locomotora puede calcularse en 6 toneladas todo lo más.

En estas condiciones (que son las mismas que hemos establecido al calcular el trabajo de las máquinas con hogar), el trabajo que las locomotoras habrán de desarrollar juntas en el día, es de 62,400.000 kilográmetros.

Si se supone que una caldera fija de producción de vapor, está establecida en la extremidad de la línea fuera de la población con objeto de introducir en el agua del depósito de cada máquina una cantidad de vapor suficiente para hacer un viaje de ida y vuelta de 20 kilómetros con un tren de 16 toneladas comprendida la máquina, el depósito de agua caliente deberá tener la suficiente para retener el calor capaz de desenvolver en efectivo, en la tracción, el siguiente trabajo:

$$T = \left\{ \frac{16.000 \times 1}{125} + (16^t \times 1 \times 5) \right\} 20.000 = 4.160.000 \text{ kilográmetros.}$$

Ahora bien: sabemos por experiencia que 1 metro cúbico de agua caliente, en los límites indicados en la teoría de las máquinas sin hogar, puede producir un trabajo de 1.500.000 kilográmetrqs. Es preciso, pues, emplear un depósito que contenga por lo menos:

$$\frac{4.160.000}{1.500.000} = 2{,}800, \text{ metros cúbicos de agua caliente.}$$

Admitamos *3 metros cúbicos* comprendiendo en ellos la capacidad reservada al vapor.

Si se recuerda que ha sido demostrado en los cálculos de de M. Montdésir que la cantidad de vapor formado por el agua caliente entre 193° y 135° representa $\frac{1}{9}$ de la cantidad total del agua generatriz, la cantidad de vapor gastada por los cilindros de cada máquina, para un solo viaje de ida y vuelta, es:

$$\frac{2{,}800}{9} = 311 \text{ kilógramos.}$$

Como las dos máquinas deben hacer juntas 15 viajes de 20 kilómetros, la cantidad total de vapor gastada por día será igual á:

$$311 \times 15 = 4.665 \text{ kilógramos.}$$

Para conocer la cantidad de vapor, que debe producir la

caldera fija en un día, es necesario agregar á este peso el 5 por 100 por las pérdidas de calor, por la condensación en el interior de los depósitos y durante la operación de cargar.

El peso total vendrá á ser:

$$4.665 + 233 = 4.898,$$

ó sea, en números redondos, 4.900 kilógramos de vapor.

Desde hace algunos años, es fácil obtener de las calderas fijas, bien instaladas, una evaporación regular de 9^{k} de agua por kilógramo de hulla consumido.

Si nos atenemos á los resultados de la práctica, el consumo diario de combustible será

$$\frac{4.898}{9} = 540 \text{ kilógramos.}$$

Por tanto, el gasto, á un precio medio de 30 francos los 1.000 kilógramos, será

$$0^{t}540 \times 30 = 16'32 \text{ francos.}$$

Agreguemos á este gasto:

Dos maquinistas á 8 francos, uno para cada máquina, ó sea 8 × 2..	16 fr.
Aceite y grasas..	6 »
Dos hombres para las calderas fijas del depósito á 5 francos.	10 »
Gastos de limpieza de las máquinas locomotoras. . .	2 »
Intereses y amortización del capital representado por las calderas y las instalaciones accesorias, ó sea á razón de (7 + 10) = 17 % sobre un gasto de establecimiento de 11.000 francos, un gasto diario de. .	5 »
Gastos de conservación del mecanismo, calderas, diversos, etc..	10 »

Si existen, entre los gastos de tracción de los diversos sistemas que hemos examinado y los gastos de tracción por las locomotoras sin hogar, diferencias que no hayamos tenido en cuenta, éstas diferencias serán poco importantes.

Por consecuencia podemos resumir, como sigue, los gastos diarios de tracción por las locomotoras sin hogar:

Combustible.	16 frs.	32
Maquinistas.	16 »	»
Aceite y grasas..	6 »	»
Personal de las calderas fijas..	10 »	»
Limpieza de las máquinas..	2 »	»
Interés y amortización del capital de instalación de las calderas y accesorios.	5 »	»
Conservación de las máquinas, bombas, calderas fijas, diversos é imprevistos.	10 »	»
Total.	65 »	32

El gasto anual de la tracción por las locomotoras sin hogar sería, por consecuencia:

$$62 \text{ fr. } 32 \times 365 = 23.809 \text{ francos.}$$

CONCLUSIÓN

Al empezar, hemos adoptado como base la tracción por caballos, vamos á determinar con relación á ésta la economía realizada por los diferentes sistemas mecánicos:

Gasto anual de la tracción por caballos, 171.258 francos.

		Economía.
Gasto anual de la tracción por las locomotoras de vapor *con hogar*.	34.040 fr.	79 %
Gasto anual de la tracción por las locomotoras de *aire comprimido*.	109.584 »	36 %
Gasto anual de la tracción por las locomotoras de vapor *sin hogar*.	23.809 »	86 %

En resumen, el sistema *de locomotora de agua caliente* ó *sin hogar* es importantísimo, bajo el punto de vista de la economía. *Este sistema realiza una economía de* **86** *por 100 sobre la* **tracción animal,** *de* **78** *por 100 sobre la tracción de las* **máquinas de aire comprimido,** *y en fin, de* **31** *por 100 sobre la tracción de las* **máquinas con hogar.**

Es necesario hacer notar aquí que el ejemplo que hemos puesto, ha sido con ventaja para las *máquinas de hogar* y *máquinas de aire comprimido.*

En efecto; si el sistema de explotación fuese modificado para aumentar el número de salidas y disminuir la carga de cada tren, el número de máquinas aumentaría proporcionalmente.

Ahora bien, el empleo de la locomotora con hogar, en los tranvías y ferrocarriles auxiliares, es tanto más oneroso cuanto más se aumente el número de máquinas, quedando lo mismo que antes el trabajo diario; el personal de las máquinas sería más numeroso y los gastos de combustibles, aceite, etc., aumentarían relativamente su importancia.

Respecto al empleo de las máquinas de aire comprimido, no es posible más que para cargas pequeñas y cortos trayectos. Si los trayectos son largos, y si las cargas son elevadas, el volumen de los depósitos hace impracticable la aplicación de este sistema; si los trayectos son cortos y las cargas muy reducidas, es preciso aumentar en considerables proporciones el número de máquinas y de maquinistas y complicar así las maniobras de carga del aire.

Cualesquiera que sean las aplicaciones que se hagan de las máquinas de *hogar* y de aire comprimido, resulta de lo que queda dicho que, darán siempre, en su aplicación, muchos menos beneficios que la locomotora *sin hogar.*

Ya se ha explicado cómo más fácilmente y mejor *la locomotora sin hogar aprovecha directamente y en inmejorables condiciones el calor producido por el combustible, mientras que las máquinas pertenecientes á los otros sistemas no lo emplean más que de un modo incompleto ó por medio de combinaciones intermediarias, que absorben en sus pérdidas el trabajo equivalente al calor.*

Se tratará de hacer á la locomotora sin hogar la objeción de que produce un penacho sumamente ligero de vapor por el escape; admitiendo en el peor caso que la condensación del vapor no pudiese hacerse por completo, si se empleaba la má-

quina de aire comprimido para evitar en absoluto el pequeño escape de vapor en las calles, costaría un gran sacrificio pecuniario. Además, ¿qué compañías, qué administradores aceptarían este sacrificio para tan poco? Ninguno.

La *máquina sin hogar* reune muchas ventajas, no sólo bajo el punto de vista de la economía de la tracción, sino que realiza prácticamente todas las condiciones del programa. Se presenta, pues, bajo los más favorables auspicios para alcanzar un gran desarrollo y para recibir numerosas aplicaciones tanto en los tranvías como en los ferrocarriles vecinales.

CONCLUSIÓN GENERAL

Resulta de todo lo que va expuesto en anteriores capítulos que, la *locomotora sin hogar* puede realizar de una manera completa las condiciones exigidas actualmente para la tracción de los tranvías dentro de las poblaciones, y para el establecimiento de los ferrocarriles sobre las carreteras.

La máquina posee suficiente flexibilidad para circular por las ciudades y por los campos; está combinada de manera que realice todas las economías por el empleo de un material ligero y manuable, y por los medios de tracción más apropiados á un tráfico de poca importancia. Se la hace maniobrar fácilmente y disminuye en mucho los gastos de construcción de que no pueden descartarse los otros sistemas de tracción. En fin, la máquina sin fuego reune gran fuerza de tracción con poco coste; por otra parte, por las ventajas excepcionales que presenta bajo el punto de vista de la seguridad y salubridad, las reglas de explotacióu serán mucho menos severas sin duda.

Partiendo de aquí, puede obtenerse la mayor economía en los gastos de explotación en general. Desde luégo, el problema de los ferrocarriles baratos parece ya resuelto. Los Estados Unidos comenzaron á aplicar la locomotora sin hogar con gran éxito en las vías férreas de calles y carreteras, y bajo formas

muy diversas antes del año 1876. En Europa, y en especial en Francia, también han sido adoptadas.

En ciertos casos, las locomotoras pueden ser *máquinas-remolcadores*, ó bien *máquinas-porteadores*; en una y otra categoría, pueden comprender multitud de tipos variados según las condiciones especiales del establecimiento y de la organización de las vías férreas á que sean destinadas,

Estas condiciones, con el mayor detalle posible, son las que hay que dar á conocer al representante exclusivo en España de la «C.ie Continentale d'Exploitation des locomotives sans Foyer,» A. Aced. Oficinas: Carretas, 41, Madrid: para recibir todos los datos que pudieran desear las personas ó Compañías interesadas, y para obtener, además, máquinas ligeras y apropiadas al servicio á que se destinen. Las casas constructoras encargadas de la de estas locomotoras, son las de primer orden en Francia, verificando su construcción con la mayor rapidez y de todas las dimensiones y formas posibles.

RESUMEN

DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EXTRANJERO

por el empleo de la locomotora sin hogar

Y DE LAS OPINIONES EMITIDAS ACERCA DE ELLA POR LOS MÁS EMINENTES HOMBRES DE CIENCIA

Si el estudio que antecede se ha leido con detenimiento, fácilmente se comprenderá que nada podemos añadir á lo expuesto para demostrar las grandes ventajas y los beneficios que sobre los sistemas de locomotoras ordinarias y de aire comprimido realiza la aplicación de la *locomotora sin hogar.*

Una máquina que, como ésta, es inofensiva en absoluto para el público, que le evita las contínuas molestias de los descarrilamientos que vemos á diario en los tranvías, que suprime por completo los atropellos en las calles y carreteras, que no produce la molesta trepidación con que tanto incomoda hoy á los viajeros la tracción irregular animal, que puede conseguir á voluntad hasta una velocidad de 20 kilómetros por hora, y que por último, aparte de lo reducido de su presupuesto de instalación, realiza una economía, demostrada por la práctica, de un **86 por 100** sobre el medio de TRACCIÓN ANIMAL, se halla en circunstancias especialísimas, que ningún otro sistema reune, para su implantación en España.

En el extranjero, sobre todo en América y Francia, está alcanzando el sistema de locomotora sin hogar, amplísimo desarrollo, como demostraremos luégo gráficamente, al consignar un estado de todos los tranvías, ferrocarriles y canales que han adoptado este sistema. No se crea que es éste un invento reciente que trae, por tanto, aparejadas las imperfecciones que á toda nueva aplicación son peculiares, no; hace más de 18 años que fueron ensayadas y adoptadas las primeras locomo-

toras *sin hogar* en Nueva-Orleans (América del Norte). Sus inventores vieron entonces que presentaban algunas imperfecciones que estudiaron y lograron hacer desaparecer; pero ya después de la Exposición Universal de 1878 en París, en la que se presentó la locomotora *sin hogar* bajo su forma actual, descartada de todos los inconvenientes primeros, peculiares de todo nuevo invento, ha marchado de triunfo en triunfo; sus éxitos colosales no lo han sido solamente para la ciencia, sino también para la industria, después de haber dado á conocer la práctica sus maravillosos resultados, ventajas y economías.

De tal entidad han sido, que sin escrúpulo de ningún género puede ser adoptado este sistema, aun por aquellas personas ó colectividades que enemigas de todo lo nuevo y esclavas de lo *rutinario*, no saben salirse de antiguos y viciados derroteros.

Como recompensa á tan portentosa creación, han sido dignificados invento é inventores con los más honrosos premios que se conceden al trabajo; y basta que se citen éstos, para que se note desde el mismo instante lo justas, serias é importantes que son tales distinciones.

La *locomotora sin hogar* ha sido honrada con:

Medalla de plata en la Exposición Universal de París en 1878;

Medalla de oro de la Exposición de Amsterdam;

Medalla de oro de la Sociedad industrial del Norte de Francia;

Diploma de honor de la Academia Nacional, agrícola y manufacturera;

Premio de mecánica de la fundación Montyon del Instituto de Francia;

Medalla de oro en la Exposición Universal de París de 1889.

Y si los dignos Jurados que han concedido estas recompensas han reconocido tal importancia al invento, no lo es menos la que los hombres de ciencia la han atribuido justamente.

Citaremos tan sólo algunos entre los más importantes y conocidos hombres científicos de Europa, puesto que sería tarea pesada y enojosa para el lector, pasar revista á tantas y tantas opiniones como se han emitido sobre la importancia y conveniencia de la adopción de la máquina *sin hogar* para la tracción, de las que los resultados prácticos y superiores á todos los demás sistemas han sido reconocidos y alabados universalmente.

El Ministro de Trabajos Públicos, y actualmente de la Guerra en la vecina República, Mr. de Freycinet, en una comunicación dirigida á Mr. Francq en 1878, decía hablando de la locomotora sin hogar, que «*las experiencias hechas en su presencia* (la del Director de la explotación de ferrocarriles del Ministerio, delegado por el Ministro para que las presenciara), *han sido muy satisfactorias;*» y termina felicitándole por tal éxito y haciendo votos porque el Jurado de la Exposición le conceda una distinción honorífica.

En una comunicación de 1886 de la Prefectura del Sena, Dirección de Trabajos Públicos, y firmada por el Inspector general de Puentes y Calzadas, Director de Trabajos, Mr. Alphand, leemos: «*El examen de este estudio* (el presentado por Mr. Francq sobre la locomotora sin hogar), *ha hecho conocer el lado práctico de vuestro sistema y las serias garantías que ofrece.*»

Con motivo de las discusiones entabladas para la adopción, en el ferrocarril Metropolitano de París, de las máquinas que mejores condiciones y menos peligros é incomodidades produjesen al vecindario y á las edificaciones, se dieron á luz en la prensa, en las sociedades científicas y reuniones de hombres importantes, multitud de opiniones, cuya inmensa mayoría optaba (y sigue optando) por la aplicación de la locomotora sin hogar para la tracción del Metropolitano presentada por Mr. Francq, y de la que poseemos una reproducción fotográfica.

De estas diversas opiniones entresacamos las siguientes, además de las dos citadas antes de Mr. de Freycinet y Mr. Alphand.

De la Memoria de Mr. Schaller sobre el ferrocarril Metropolitano de Viena, que verifica la tracción por medio de las locomotoras sin hogar, tomamos el extracto de la relación del Inspector general, Mr. *Frémaux*, que presentó al Consejo general de Puentes y Calzadas, en el que para demostrar las ventajas que reportaría la adopción del sistema de locomotora sin hogar en el Metropolitano de París, ponía el siguiente ejemplo de una máquina-remolcadora establecida en 1881, en el canal del Marne al Rhin en el sitio llamado «Bief de Mauvages»: «*En* »*una carta del 13 de Febrero de 1883, el Ingeniero Jefe* »*Mr. Holtz certifica que, en las cuatro horas que dura* »*el trabajo efectuado por subterráneo, de 5 kilómetros de lon-* »*gitud, con el vapor caliente contenido en el depósito, la emi-* »*sión de humo es nula en absoluto, y que el remolcador atrae* »*veinte ó veinticinco barcos que transportan de 4 á 5.000 to-* »*neladas de carga, y que, en estas condiciones, el trabajo va-* »*ría de 1.200 á 1.300 kilográmetros por segundo, ó sean de 16* »*á 17 caballos de vapor de trabajo útil.*»

En la sesión de 3 de Julio de 1886 del Consejo municipal de París se decía, según extracto del acta que tenemos á la vista: «... *Que para la tracción de los trenes* (del Metropolitano), »*es preciso proporcionarse máquinas que no despidan ni* »*humo, ni vapor, ni gases susceptibles de viciar el ambiente,*» puesto que en los túneles por los que había de pasar era una seria incomodidad y peligro para los viajeros cualquiera de estas condiciones que se dejase de cumplir; más adelante dice: «*De todos modos, mi parecer* (el de uno de los proponentes del »sistema), *es que lo más ventajoso sería emplear máquinas que* »*no produjesen nunca humo; por ejemplo, las locomotoras de* »*agua caliente, y tal vez, las máquinas de aire comprimido y*

»*las eléctricas. Para los largos trayectos subterráneos, estimo* »*que estos sistemas se imponen á todas las consideraciones,*» teniendo en cuenta las condiciones de los trayectos subterráneos.

En el «Moniteur Industriel» del 6 de Agosto de 1885, leemos en la sesión de 27 de Julio del mismo año, celebrada por la Comisión parlamentaria que oyó á Mr. Francq, presentado por Mr. Mesnard, antiguo Ingeniero Jefe de la casa Cail, la descripción que hizo de todas las ventajas de seguridad y economía al par que de higiene, que resultaban de la aplicación de su invento al Metropolitano de París, y como consecuencia de sus demostraciones, dicha Comisión le pidió que preparase los proyectos definitivos del material de tracción.

El ilustrado diario francés *Le Temps*, correspondiente al día 9 de Mayo de 1886, hace constar, refiriéndose al Metropolitano, el entusiasmo con que los parisienses acogerían el sistema de tracción que permitiese suprimir los túneles, y verificase su trayecto por encima de las calles, no privándoles, así, de respirar el aire libre, al mismo tiempo de que dicho sistema no perjudicase ni molestase con el humo, cenizas ó ruido á los transeuntes. Considera resuelto el problema con la adopción de las locomotoras sin hogar.

A continuación de este primer artículo publicado por *Le Temps* le fueron dirigidas al Director de este periódico multitud de cartas, unos dudando que reuniese tan grandes ventajas el sistema de locomotora sin hogar, otros no creyendo que pudiese existir tal invento, y otros, por último, los más sensatos, suplicándole explicase el modo de ser y funcionar de las locomotoras sin hogar. Complaciente el distinguido periódico parisién, publicó en su número del 24 de Junio de 1886 una detallada descripción de la locomotora sin hogar, demostrando, con gran claridad que: «*... La disposición de las locomotoras sin hogar es la más ingeniosa y sencilla. En vez de cargar el car-*

bón que ha de consumir durante su marcha para producir el vapor, se provee de éste directamente de los generadores fijos. Una locomotora ordinaria sabemos que se compone: de un hogar y una caldera para producir el vapor, y de cilindros provistos de pistones que le consumen. La locomotora sin fuego no tiene hogar ni caldera, sino simplemente un receptáculo de vapor y unos cilindros; el vapor, en vez de producirlo durante la marcha, se produce en grandes calderas fijas, análogas á las empleadas en las fábricas.» Por último, para convencer á los más incrédulos, recomienda que visiten la instalación de Port-Marly y otras donde podrán ver funcionar las máquinas y calderas fijas y conocer la sencillez de procedimiento de carga, etc.

Firmada por un Ingeniero, publica una carta *Le Temps* del 27 de Junio de 1886, en la que se ponen de relieve todas las ventajas que reunen estas locomotoras sin hogar, habiendo obligado á este Ingeniero á publicar su opinión la cuestión suscitada para la tracción del Metropolitano, y entre otras ventajas hacer resaltar la que sigue:... «*Se temerá que por los »grandes fríos, el vapor se condense en los recipientes de las »máquinas hasta el punto de comprometer la regularidad del »servicio. Nunca ha sucedido tal. Estas locomotoras han so»portado á lo largo del Sena, entre Rueil y Marly, fríos rigo»rosos* (DE 25° BAJO CERO) *sin que haya cesado un instante »su servicio.»*

Para terminar, daremos sólo algunos pareceres de hombres de ciencia, de los muchos que tenemos en nuestro poder.

Mr. *Couche*, ex-Inspector general de Minas, y ex-profesor de la Escuela de Minas, duda que el *aire comprimido* pueda conseguir lo que perfectamente realiza la locomotora sin hogar.

Mr. *Collignon*, Inspector general de Puentes y Calzadas, y de Estudios de la misma Escuela, en una relación presenta-

da á la «Sociedad de Fomento de la industria nacional» dice: «...*Comparada con el aire comprimido, la locomotora sin ho-»gar representa una economía incontestable; sobre todo, si se »considera la fuerza producida con relación al volumen ocu-»pado por las reservas de fuerza motriz.*»

Mr. *Lavoinne*, Ingeniero Jefe, dice en los *Anales de Puentes y Calzadas,* que reconoce gran supremacía á la *locomotora sin hogar* sobre la de *aire comprimido.*

Mr. *Riggenbach,* Ingeniero, constructor del ferrocarril del Righi, en Suiza, expone que las ventajas de las locomotoras sin hogar comparadas con las de aire comprimido son:

«1.° *Gran economía en la instalación.*

»2.° Gran economía en la acumulación de fuerza motriz.

»3.° Mucha mayor seguridad.

»4.° Muchas menos reparaciones en el mecanismo.

»5.° Menos peso muerto en el motor.»

En la *Sociedad de Ingenieros civiles*, hablaban los señores Schaller, Mallet, Hamers, Francq y otros, en los siguientes términos: «..... *La atención de los Ingenieros se ha fijado en los motores eléctricos, máquinas de aire comprimido y locomotoras de agua caliente ó sin hogar... Las máquinas de aire comprimido empleadas en Londres, son del sistema del coronel Beaumont; en Nantes del ingenioso sistema de M. Mékarski... La locomotora de agua caliente tiene una enorme superioridad sobre las de aire comprimido... El Comité de Ingenieros ha reconocido que la locomotora sin hogar es la que mayor número de ventajas reune... Por otra parte, los aparatos que proveen de agua caliente á las máquinas, son infinitamente más sencillos que los compresores de aire, y no exigen más que una pequeña fuerza motriz para la misma operación de abastecer á las locomotoras...*

En fin, el empleo del vapor es mucho más cómodo y seguro que el del aire comprimido, en el que los enfriamientos y

contracciones de volumen debidas á la expansión, hacen ilusorias en absoluto las ventajas teóricas de la expansión.

La tracción por CABLE (TRACCIÓN FUNICULAR), *tiene también sus defensores, no obstante haber ocupado su sitio la locomotora, considerándola como indispensable.*

Por último, hay partidarios de la TRACCIÓN ELÉCTRICA, *y entre ellos quienes afirman que este medio realiza, aparte de sus ventajas propias, una economía considerable sobre la máquina de vapor. Olvídanse, sin duda, de que para producir tanto la electricidad como el aire comprimido, es preciso emplear la fuerza desarrollada por el vapor, y que por consiguiente no puede ser la fuerza motriz igual á la generatriz, ó se han descuidado en comparar el rendimiento económico de los medios empleados con el rendimiento teórico según se trate de aprovechar el vapor ó una fuerza natural cualquiera utilizable.»*

Tarea penosa y larga sería la de dar á conocer en este resumen las opiniones favorables que todos, hombres de Estado, de ciencia é industriales, han dado sobre el empleo y condiciones de la locomotora *sin hogar;* pero como consideramos suficientes las que van expuestas, nos abstenemos de alargar la lista de ellas.

Daremos, para concluir, algunos datos sobre los resultados obtenidos en la explotación de varios tranvías con el sistema de aire comprimido comparado con la locomotora *sin hogar*, pareciéndonos éstos la mejor demostración encomiástica del sistema que apoyamos.

RESULTADOS DE EXPLOTACIÓN COMPARADOS

I

COEFICIENTES DE EXPLOTACIÓN

En Nantes, los tranvías se explotan con motores de *aire comprimido.*

El *coeficiente de explotación*, es decir, el gasto total por un año con relación al producto bruto, según el Boletín del Ministerio de Trabajos Públicos, es de. . . . . . . 91 %

En la línea de Lille á Roubaix, que se explota con *locomotoras sin hogar*, el coeficiente de explotación durante el mismo período de tiempo es de. . . . . 68 %

En los tranvías de Batavia, donde las salidas de los trenes son más frecuentes que en Lille, sin serlo tanto como en Nantes, el coeficiente no es más que de. . . . . 62 %

En Saint-Etienne, el coeficiente de explotación con máquina de hogar, es de. . . . . 83 %

Y en Rouen, donde se emplean las mismas máquinas, es de.. . . . . 80 %

II

GASTO TOTAL DE EXPLOTACIÓN POR KILÓMETRO Y COCHE

El gasto total de explotación por kilómetro y tren, según el Boletín del Ministerio de Trabajos Públicos, ha sido por año para los tranvías de Nantes que emplean la *tracción* por *aire comprimido*, de.. . . . . 0 fr. 718.

Como en 34.602 kilómetros recorridos en un mes, sólo 107 lo han sido con trenes de dos coches, resulta que el gasto por kilómetro y coche, es de. . . . . 0 fr. 715.

Entre Lille y Roubaix, con máquinas sin hogar, el gasto correspondiente al año, fué de.. . . . . 0 fr. 509.

En la línea de Rueil á Marly con las mismas máquinas sin hogar, resultó un gasto de. . . . . 0 fr. 31.

En los tranvías de Batavia, que emplean igualmente las locomotoras sin hogar, el gasto no fué más que de. . 0 fr. 26.

III

GASTO KILOMÉTRICO DE TRACCIÓN

En los tranvías de Nantes, con *aire comprimido*, la tracción kilométrica ha costado por año:

Por kilómetro y tren. . . . . . 0 fr. 343
Por kilómetro y coche. . . . . . 0 fr. 342

mientras que en la línea de Roubaix-Lille, con *máquinas sin hogar*, la tracción sólo ha costado

Por kilómetro y coche. . . . . . 0 fr. 22

En los tranvías de Batavia, á pesar del elevado precio del carbón (48 francos la tonelada). . . . . . . 0 fr. 14
y en el tranvía de Rueil-Marly.. . . . . . . 0 fr. 11

IV

CONSERVACIÓN DE LA VÍA

Los tranvías de Nantes, por *aire comprimido*, con vía sistema Saintyves y Marsillon, construída con solidez, producen un gasto por kilómetro y año, según la estadística oficial, de. . . . . **7.600** francos.

El gasto correspondiente en la línea de Lille á Roubaix con máquinas sin hogar y con una vía menos sólida y más desgastada, no es más que de. . . . . fr. 2.100
En Lyón.. . . . . 1.600
En el Havre. 1.600
En Rouen (máquinas y caballos). 2.000

V

GASTOS DE MATERIAL MÓVIL CON RELACIÓN Á LOS GASTOS TOTALES DE INSTALACIÓN

En Nantes los tranvías con motor de *aire comprimido* exigen un material móvil para la explotación que representa con relación al gasto de instalación. . . . . 71 °/°
En Lyón (material nuevo). . . . . 40 °/o
En el Havre. . . . . 45 °/o
En Lille. . . . . 50 °/o

En la línea de Lille á Roubaix, explotada con locomotoras sin hogar, el gasto de adquisición del material móvil (coches y máquinas), utensilios, mobiliario, adquisición é instalación de los generadores, y los gastos que éstos originan, como compra de terrenos, construcción de depósitos, salas de espera en la vía pública, linea telefónica, etc., etc., no representa más que. . . . . 38 °/o

VI

GASTOS DE ADQUISICIÓN DEL MATERIAL DE TRACCIÓN

En los tranvías de Nantes se ha gastado para establecer la tracción *por aire comprimido* para coches automóviles.. . . . . fr.	293.063‘55
para los remolcadores y coches con imperial. . .	33.496‘20
En total.	326.559‘75

Para preparar la potencia motriz del aire comprimido, fué necesario gastar en los depósitos:

Francos 25 321‘80 en terrenos (1).

(1) Será mucho menos para las máquinas sin hogar.

Francos 99.996'15 en locales para los compresores y generadores, instalación de máquinas, hornillos y chimeneas (1).

Francos 43.978'00 en material de vapor y accesorios (2).

Francos 126.665'45 en máquinas motrices y bombas (3).

Francos 47.496'15 en depósitos de acumulación, tubería, etcétera (3).

La enumeración de todos estos gastos, sin contar los muchos accesorios que son consecuencia del establecimiento de calderas suplementarias, máquinas, compresores, etc., nos hace comprender perfectamente por qué en Nantes es necesario el 71 por 100 de material móvil y accesorios mientras que en los demás puntos es mucho menor.

Con lo que antecede quedan suficientemente demostradas las grandes ventajas y no menores economías de las *locomotoras sin hogar,* notabilísimo invento que ha producido ya en el extranjero y producirá en España, cuando sean conocidos sus efectos, una verdadera revolución en la industria de los tranvías y ferrocarriles vecinales. Debe suceder así, por lo menos, ya que no en justo tributo de gratitud á los progresos de la ciencia, á lo que reclama de todos, y principalmente de aquéllos á quienes está encomendada su gestión, la defensa de los intereses de un gran número, prescindiendo de los de la Sociedad, comprometidos en empresas cuya improsperidad es notoria, más que por vicios de origen ó administrativos, por el desequilibrio notable entre sus ingresos y gastos. No, no es posible, con los actuales medios de tracción, alcanzar en nuestra patria los resultados que los capitales empleados en tales in-

---

(1) Este gasto se reduce considerablemente, puesto que las máquinas sin hogar no necesitan ni compresores ni máquinas, y sí sólo generadores.

(2) Esto es el doble de lo que es preciso para las máquinas sin hogar.

(3) Gasto innecesario en las locomotoras sin hogar.

dustrias obtienen en el extranjero. Verdad es que allí es mayor el movimiento de viajeros en los tranvías urbanos, y más numerosos también los transportes en los ferrocarriles vecinales; pero esto mismo nos obliga á acoger de buena voluntad y sin prevenciones que no justifican la experiencia y la práctica de las ciudades y puntos donde funcionan, los que los adelantos del tiempo y las manifestaciones del genio ponen á nuestro alcance para disminuir considerablemente, y en proporción que parecería fabulosa, á no estar demostrada su exactitud, los gastos todos que ocasiona la explotación del negocio.

31 por 100 de economía sobre la locomotora de vapor con hogar; 78 por 100 sobre las de aire comprimido, y 86 por 100 sobre la tracción animal, principalmente usada entre nosotros, son cifras de irresistible elocuencia en favor de la *locomotora sin hogar*, y en contra de largas y difusas disertaciones acerca de su conveniencia.

Por su adopción, empresas que arrastran hoy penosa vida, pueden convertirla, como por milagro, en próspera existencia.

Disminuid en un 86 por 100 los gastos de cualquier Compañía cuyos ingresos diarios sean, por ejemplo, de 1.000 pesetas, con los cuales no hace más que cubrir sus atenciones ajustadas á la misma cantidad, y tendréis un producto líquido, diario también, de 860 pesetas con que atender á las mejoras que reclame el negocio y á las justas exigencias del capital en él invertido. Si los Directores, Gerentes y Consejos de tranvías urbanos y ferrocarriles vecinales se penetran de verdades tan sencillas, y obran en su consecuencia, adoptando para sus empresas la *locomotora sin hogar*, habrán prestado un buen servicio á su país y á sus administrados.

Igual atención reclamamos de los Ayuntamientos por ser los más interesados en que desaparezcan hechos que repugnan á

la moral, tales como la crueldad empleada con los animales por mayorales y encuarteros, acompañada siempre de blasfemias y frases indecorosas que hieren á quienes las escuchan. Si aparte de esto, que por sí es bastante, consideramos los enormes gastos que ocasiona la limpieza de la entre-vía y sus inmediaciones por la continua circulación sobre ellas de las caballerías, por la necesidad de quitar la arena que se vierte con objeto de evitar los resbalamientos del ganado en las fuertes pendientes y épocas de grandes fríos, á más de las graves molestias y peligros que á los transeuntes ofrecen las ambulantes caballerizas de los encuartes, se convendrá en que para evitar todo lo que queda dicho y no hacer desmerecer el buen aspecto de las calles, los Ayuntamientos que se interesen por el bienestar de sus conciudadanos y por eliminar de sus presupuestos aquellos gastos no despreciables que hace innecesarios hoy el notabilísimo invento de los señores Lamm y Francq, se apresurarán á acoger con entusiasmo la sustitución de la fuerza animal por la tracción mecánica.

Una sola palabra para terminar: todos los datos consignados en este *Resumen* revisten un carácter tal de certidumbre que no es posible poner en duda ni su legitimidad ni su evidencia, porque emanan todos de documentos de irrecusable autoridad, que tenemos y ponemos desde luégo á disposición de aquéllos á quienes interesen y quieran examinarlos.

ALEJANDRO ACED.

Estado y condiciones de las líneas de Tranvías y Ferrocarriles tema Lamm y Francq)

NOMBRES DE LAS LINEAS	Fecha de su explotación.	Longitud de la línea.	Ancho de la vía.	Tipo de los carriles.	Curvas. Radio mínimo	Pendiente máxima	Peso del tren.
Rueil á Port-Marly.........	1878	7 km.300	1m.440	Vignole.	25 m.	30 m/m	33 t.
Port-Marly á Marly-le-Roi....	1878	1 k.950	1m.440	Vignole.	30 m.	59 m/m	16 t.
Paris (Etoile) á St. Germain...	1890	18 k.650	1m.440	Broca. Vignole. Marsillon.	25 m.	54 m/m	38 t.
Paris (Etoile) á Courbevoie...	1889	3 k.580	1m 440	Broca. Vignole. Marsillon.	30 m.	17 m/m	25 t.
Lille á Roubaix............	1881	11 k.208	1m.440	Vignole. Marsillon.	20 m.	53 m/m	28 t.
Lille al Liôn-d'Or..........	1881	2 k.213	1m.440	Vignole. Marsillon.	20 m.	20 m/m	23 t.
Lille á Tourcoing..........	1887	11 k.015	1m.440	Marsillon.	25 m.	30 m/m	30 t.
Lille á Marcq.............	1887	5 k.665	1m.440	Vignole. Marsillon.	25 m.	19 m/m	30 t.
Lyôn á St. Fons y Vénissieux.	1888	9 k.184	1m.440	Vignole. Marsillon.	20 m.	43 m/m	35 t.
Lyôn á Brou..............	1889	5 k.745	1m.000	Vignole. Marsillon.	24 m.	46 m/m	27t y 18t
Lyôn á Montplaisir.........	1890	4 k.600	1m.000	Vignole. Marsillon.	24 m.	»	27 t.
Batavia á Meester Cornelis...	1883	12 k.615	1m.180	Vignole. Demerbe.	25 m.	30 m/m	25 t.
Noailler á St. Pierre (Marsella)	1892	3 k.000	»	Vignole. Marsillon.	35 m.	37 m/m	20 t.

sobre carreteras explotadas por Locomotoras sin hogar (Sis-
en 30 de Junio de 1892.

Número de trenes por día.	Duración del trayecto	Número de locomotoras	Generadores — Superficie de calefacción.	Generadores — Número	Depósitos de carga. — Número	OBSERVACIONES
21	31 m.	5	50 m².	2	1	Esta línea se prolongó en 1890 para formar la línea de París á Saint-Germain.
8	8 m					
38	1h. 25m	10	50 m².	3	2	Adquiere la línea de París á Courbevoie.
			60 m².	3		
108	20 m.	14	55 m².	3	1	Tuvo tracción animal. Actualmente la verifica con máquinas de hogar transformadas en máquinas sin hogar.
32	55 m.	15	34 m².	5	2	Depósito en el Lyón-D'Or, y en Brœucq.
64	12 m.		50 m².	3	1	Depósito en el Lyón-D'Or.
16	55 m.	10	50 m².	3	1	Cinco de estas máquinas han sido transformadas de locomotoras con hogar en locomotoras sin hogar.
31	38 m.					
20	45 m.	10	50 m².	2	1	Material en previsión de mayor servicio.
			75 m².	1		
32	35 m.	6	50 m².	3	1	
32	30 m.	»	65 m².	2	1	
»	»	23	67 m².	4	1	
				4	1	
112	12 m.	6	50 m².	2	1	Las locomotoras condensan su vapor durante la travesia de un túnel de 680 m. de longitud.

ESTADO de la aplicación de la tracción sin fuego en los Canales, Minas, Fábricas, Fábricas de Pólvora, etc.

DESIGNACION de las aplicaciones y de los países.	NUMERO de motores.	FECHA en que empezó el servicio
Transportes del Canal del Este. (Túnel de Mauvages) (Francia Meuse). . . .	2 barcos.	1879-1885
Transportes del Canal de Bourgogne. (Túnel de Pouilly) (Francia-Côte-d'or)	1 idem.	1886
Vías férreas de M. Skoda en Pilsen (Austria Bohemia)..	2 locomotoras. .	1886
Konigliche Berguinspection en Sulzbach (Alemania)..	2 transportes (1)	1887
Fundición Niederrcheinische en Dinsbourg (idem)..	1 locomotora. .	1887
Gebruder van der Zypen en Deutz (idem)..	1 idem.	1888
Dusseldorfer Eisen en Dusseldorf (idem)	1 transporte.. .	1888
Osteireiche Alpine Montangelleschaft (idem)..	1 idem.	1888
Idem idem idem (idem).	1 locomotora. .	1888
Altos Hornos de Dusseldorf (idem). . .	1 idem.	1890
Urezfabrik en Hernan (idem)..	1 idem.	1890
Hércules en Essen (idem)..	1 idem.	1890
Fábrica de pólvora de Spandan (idem).	2 idem.	1891
Gesverskchaft Kœnigsborn (idem).. . .	1 transporte.. .	1891
Sociedad de las Minas de Hibernia en Herne (idem)..	2 idem.	1891
Idem de construcción Schlagël en Eisen (idem)..	1 idem.	1891
Fábrica de laminar de Langenbrahm en Ruttenschied (idem)..	2 locomotoras y transporte . .	1892
Idem idem Ch. Friedrich Weitmar en Dortmund (idem).	1 transporte.. .	1892

(1) Barcos destinados á trasbordar el cargamento.

BREVE ESTUDIO CRITICO

DE LAS LOCOMOTORAS DEL SISTEMA LAMM Y FRANCQ;

POR CÁRLOS ALFONSO,

INGENIERO DE CAMINOS.

Invitado por el Sr. Aced y Arana á emitir mi opinión acerca del sistema de locomotoras á que se refiere el anterior folleto, faltaría á los más rudimentarios deberes de cortesía si no correspondiera á su atenta invitación, á pesar de mi limitada competencia, que desde luégo reconozco y me apresuro á consignar. Pero atendiendo á aquella circunstancia y á mi íntimo convencimiento, acerca de la excelencia de este sistema de tracción, que he estudiado detenidamente, no vacilo en escribir estas líneas como apéndice ó complemento de lo consignado en la memoria del eminente ingeniero Sr. Francq, inventor del sistema. Pero séame, ante todo, permitido rogar al lector que supla con su buen criterio las deficiencias que seguramente ha de encontrar en lo que sigue.

LA LOCOMOTORA SIN HOGAR

Desde 1767, en que N. J. Cugnot construyó la primera locomotora para carreteras, hasta la fecha, la tracción por medio del vapor de agua ha realizado sucesivos y constantes progre-

sos: de aquel tosco é imperfecto remolcador (invento verdaderamente portentoso como toda idea nueva de tan trascendental importancia), á las poderosas locomotoras de cuatro ejes acoplados que hoy arrastran enormes cantidades de mercancias; de aquel rudimentario mecanismo, que caminaba con una velocidad de 1.800 toesas (unos 3, ^{km} 5) por hora á la hermosa máquina que hoy recorre hasta dos kilómetros por minuto, hay la diferencia que producen más de cien años de perfeccionamientos. Pero á medida que en cualquier invento se van aplicando sucesivas mejoras, surgen otros problemas; se presentan nuevos motivos de estudio, que conducen á modificaciones más favorables. Aún no es bastante la locomotora actual: nuevas exigencias requieren nuevas mejoras; otras necesidades reclaman modificaciones esenciales. Este ha sido el origen de la locomotora sin hogar.

Cuando se trata de la explotación de una linea de pequeño recorrido y particularmente dentro de poblaciones, las circunstancias son completamente distintas de las que concurren en un trayecto de longitud considerable. Por esta causa, para grandes lineas, hoy dia son irreemplazables las locomotoras ordinarias, y por la misma razón son inconvenientes en ferrocarriles de interés local é inaplicables en tranvías urbanos.

En éstos se adoptó, desde su origen, la tracción animal, por ser la más apropiada á la naturaleza del servicio y á las condiciones de emplazamiento de la vía. Pero desde luego se observó las desventajas de tal procedimiento, figurando en primer término la carestía. Se ha aplicado las locomotoras con hogar, los motores de aire comprimido y la tracción eléctrica; pero aun cuando algunas líneas se explota actualmente por estos medios, los inconvenientes que se observa son poco menores de los del motor animal.

En 1872, un práctico norte-americano, observando dichas desventajas inherentes á la tracción por caballerías, concibió

la posibilidad de construir aparatos en los cuales se llevase almacenado el agente que, en último tèrmino, produce en las locomotoras el trabajo mecánico, sin llevar á la vez los medios de obtenerle. A este efecto, le ocurrió la idea de construir motores desprovistos de todos los aparatos necesarios para la producción del vapor, instalando aparte todo lo que á esto se refiere. Esta idea se reduce, si vale la frase, á construir una locomotora en dos trozos separados: por una parte, el generador fijo, exclusivamente destinado á producir vapor á la presión necesaria; por otra un recipiente automóvil de agua y vapor, que es lo absolutamente indispensable en la locomotora para proporcionar el trabajo mecánico de la tracción.

En 1873, se verificó la primera aplicación del sistema en Nueva-Orleans, y aunque los resultados obtenidos dejaban mucho que desear (cosa perfectamente lógica en un primer ensayo), hasta tal punto, que se creyó en la precisión de abandonar el sistema por *poco práctico;* dada la grandísima importancia de la cuestión, y los resultados en extremo beneficiosos que se habia de obtener de las locomotoras sin hogar, varios eminentes ingenieros de Europa y América, estudiaron con verdadero empeño el modo de perfeccionar aquella primera idea.

El éxito vino á recompensar tan asíduos y beneficiosos trabajos; y en la Exposición de París de 1878, se exhibió locomotoras sin hogar, perfectamente prácticas para conseguir el objeto deseado. La de los Sres. Lamm y Francq, se reconoció como la mejor, según lo prueban la recompensa que entonces se les otorgó y las que posteriormente han obtenido. Las opiniones de eminentes ingenieros que consigna el señor Aced y Arana en su resumen, y el rápido incremento que constantemente adquiere la adopción de éstas máquinas, son pruebas concluyentes de la considerable ventaja que presentan sobre los otros medios de tracción aplicados.

El Sr. Francq expone y demuestra, en su memoria, de una manera clara é imparcial las importantes ventajas de este sistema, por lo que sería inútil que yo insistiera sobre este punto.

La locomotora sin hogar está fundada en un principio sencillo y perfectamente conocido de Termodinámica: se reduce á almacenar, en un volumen de agua lo más reducido posible, una cantidad de calor capaz de trasformarse en el trabajo necesario para arrastrar una carga prefijada en un trayecto dado.

A este efecto, la caldera se reduce á un recipiente cilíndrico circular donde se echa agua fria hasta un cierto volumen indicado por el cálculo. Se pone en comunicación la caldera con el generador fijo, que se halla á una presión de 13 á 16 atmósferas, por medio de un tubo de conexión que enlaza los correspondientes á ambos receptáculos. Al abrir las llaves que corresponden á estos dos tubos, el vapor entra con fuerza en la caldera recipiente, por medio de una prolongación del tubo, colocada cerca del fondo, provista de orificios situados en la parte superior, cuya suma de secciones es igual á la del tubo, y cuyos diámetros van aumentando á medida que los orificios están más distantes de la toma de vapor. Con esta disposición se consigue evitar el choque del vapor en el fondo de la caldera, y que al salir hácia arriba por los orificios, atraviese toda la masa de agua, lo que da por resultado una temperatura próximamente uniforme en toda ella. A medida que entra el vapor, aumenta continuamente la temperatura del agua, hasta que se llega al equilibrio de presión entre los dos recipientes, y entonces está terminada la carga, y la locomotora en disposición de funcionar.

La parte superior de este recipiente está ocupada por el vapor saturado, asi como la cúpula por donde se verifica la toma de vapor al funcionar la máquina.

Al empezar el gasto de vapor, claro es que se produce un descenso de presión; y como el agua tiene la temperatura correspondiente á la inicial, se produce vapor; por este motivo (prescindiendo ahora de las pérdidas por radiación y conductibilidad) ambas descienden, respecto á las primitivas, y la continuación del movimiento va acentuando este efecto, hasta que la presión desciende á un límite en que ya no es posible continuar el arrastre del tren.

Si desde la cúpula fuese directamente el vapor á las cajas de distribución, habría una irregularidad extraordinaria en la manera de funcionar la máquina: al principio á alta presión y al final á baja, pasando gradualmente de una á otra; de modo que, en cada embolada, actuaría el vapor á una presión distinta.

Para obviar este grave inconveniente ha ideado el inventor una ingeniosa disposición. En el tubo de toma del vapor hay un aparato de equilibrio, llamado *expansor*, el cual está formado por una capacidad cilíndrica, provista, en la parte superior, de un resorte que maneja el maquinista por medio de un manubrio, enlazado á una combinación de palancas.

A continuación, hay una caja ó *recipiente intermedio* entre el expansor y las cajas de distribución.

El aparato expansor permite que pase el vapor al recipiente intermedio á la presión que convenga. De modo que, bajo una presión determinada en la caldera, se puede hacer variable en dicho recipiente.

Como la máquina es de cilindros conjugados con distribución de expansión variable, claro es que convendrá, mientras el perfil de la línea lo permita, marchar á baja presión y gran expansión, con lo que se obtendrá el máximo rendimiento; pero si durante el trayecto hubiera que vencer una resistencia más considerable que requiriese un esfuerzo mayor que el de la marcha normal, se podría aumentar la presión sobre los

émbolos; todo lo cual se consigue por medio del aparato expansor.

Está, además, provista la máquina de un aparato de condensación, formado de tubos de sección estrellada, para disponer de gran superficie, en el cual sirve de refrigerante el aire ambiente aspirado con fuerza por el aparato. La mayor parte del vapor se condensa, y el resto sale por un conducto inferior, sin producir la menor molestia ni ruído. El agua de condensación pasa á una caja cerrada, que se vacía en la siguiente estación de carga al verificar la nueva.

Para evitar cuanto es posible las pérdidas de calor, la caldera, la cúpula y el recipiente mencionado, están cubiertos por una capa de betún que contiene materias malas conductoras; encima se aplican cinchos de madera, sobre los cuales se apoyan duelas de abeto, que dejan entre ellas y el betún una capa de aire.

El resto del mecanismo no presenta particularidades especiales que merezcan ser consignadas; pero la suspensión sí presenta una forma especial.

Un primer bastidor está dispuesto de manera que las cajas de grasa que corresponden á los usillos de los dos ejes, pueden, por medio de una junta esférica sobre una guarnición ligada á las placas de guarda, variar en su posición, colocando perpendicular ú oblícuo cada eje con relación al longitudinal del bastidor, según los casos, De esta manera el bastidor puede tomar la forma de paralelógramo, á cuyo efecto las traviesas de arriostramiento de la parte superior, son móviles y están articuladas al rededor de ejes verticales.

Para que los ejes puedan moverse libremente con relación al bastidor, á la vez que para permitir á la masa principal de la locomotora su natural impulsión, toda la carga está referida á un segundo bastidor, exterior al primero, articulado con él por medio de ejes que se apoyan sobre éste por

unos rodillos intercalados entre las traviesas de ambos bastidores.

La suspensión de la máquina se verifica por medio de resortes superiores al bastidor interior, ligados por un balancín cuyo eje de giro también está sujeto al mismo.

El movimiento se transmite desde los cilindros á un árbol situado en uno de los extremos de la máquina, el cual le transmite, por medio de bielas, al eje más próximo, ligado á su vez, por otras de acoplamiento, al segundo eje.

Por efecto de todas estas disposiciones, se consigue á la vez: obtener independencia en los ejes, permitiendo el paso por curvas de pequeño radio; utilizar los dos como motores, pudiendo subir rampas de bastante inclinación; disminuir mucho los efectos de la fuerza centrífuga.

El Sr. Francq transcribe en su memoria la teoría de la locomotora sin hogar, desarrollada por el Sr. Piarron de Mondésir, y por medio de ella se puede calcular, en cada caso, las condiciones de las máquinas que se deba aplicar.

Claro es que el trayecto que puede recorrer la máquina cargada al máximo de presión, depende del perfil de la vía, del peso que deba arrastrar y del volumen de agua y vapor que contenga el recipiente. Por lo tanto, conocido aquel perfil y la carga total que sea preciso remolcar, se determinará el trabajo bruto que la locomotora debe desarrollar.

Designando por e el esfuerzo de tracción sobre carriles por tonelada de peso bruto;

por D el recorrido completo;

por A la suma total de alturas de todas las rampas en el sentido en que esta suma sea mayor;

y por C el peso total del tren, expresado en toneladas;

el trabajo que la locomotora deberá desarrollar, será:

$(e\,D + A)\,C.$

Y si se designa por K el número de kilográmetros útiles que produce un kilógramo de vapor entre las temperaturas extremas en las condiciones en que funciona la máquina, el peso de agua P_0 que deberá llevar el recipiente al empezar la marcha, será:

$$(1)\ P_0 = \frac{(e\,D + A)\,C.}{K}$$

Designando por t_0 y t_1 las temperaturas inicial y final, y por P_0 el peso de agua contenido en el recipiente al partir, el trabajo dinámico teórico, en calorías, es, según las fórmulas del Sr. Piarron de Mondésir:

$$(2)\ M = P_0 \left[\frac{t_0}{3} - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{t_1}{3} - 170 \left\{ 1 - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \right]$$

Se ha visto también, según esta teoría, que se puede, sin error sensible, tomar para la presión media que se expresa en atmósferas, la media de las presiones en los límites prácticos, ó sea,

$$m' = \frac{m_0 + m_1}{2};$$

y para el coeficiente de reducción del trabajo teórico en kilográmetros al trabajo práctico, el valor $x = \frac{3}{4}$.

De aquí resulta para valor del trabajo dinámico práctico expresado en kilográmetros, la expresión

$$(3)\ T_1^o = \frac{3}{4} E \frac{m_0 + m_1 - 2}{m_0 + m_1} \times M;$$

siendo E el equivalente mecánico del calor.

Reemplazando en la ecuación (3) el valor de M que da la (2) se obtiene:

$$T_1^o = \frac{3}{4} \times 425 \frac{m_0 + m_1 - 2}{m_0 + m_1} \times P_0 \left[\frac{t_0}{3} - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{t_1}{3} \right.$$

$$- 170 \left\{ 1 - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \Bigg] ;$$

ó sea:

$$(4)\ T_1^c = 318{,}75 \frac{m_0 + m_1 - 2}{m_0 + m_1} \times P_0 \left[\frac{t_0}{3} - 170 - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{t_1}{3} - 170 \right) \right];$$

Siendo $P_0 - P_1$ el peso de vapor formado entre las temperaturas t_0 y t_1, el valor de K será

$$K = 318{,}75 \frac{m_0 + m_1 - 2}{m_0 + m_1} \times \frac{P_0}{P_0 - P_1}$$

$$\left[\frac{t_0}{3} - 170 - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{t_1}{3} - 170 \right) \right];$$

reemplazando P_1 por su valor en función de P_0 que es $P_1 = P_0 \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}}$, se obtiene:

$$K = 318{,}75 \frac{m_0 + m_1 - 2}{m_0 + m_1} \times \frac{P_0}{P_0 \left[1 - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right]}$$

$$\left[\frac{t_0}{3} - 170 - \left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{t_1}{3} - 170 \right) \right];$$

ó sea, designando por R para simplificar la expresión $\left(\frac{900 - t_0}{900 - t_1} \right)^{\frac{3}{2}}$, y por Z el coeficiente $318{,}75 \frac{m_0 + m_1 - 2}{m_0 + m_1}$

$$(5)\ K = Z \times \frac{1}{1 - R} \left[\frac{t_0}{3} - 170 - R \left(\frac{t_1}{3} - 170 \right) \right]$$

$$= Z \frac{1}{1 - R} \left[\frac{t_0 - R\,t_1}{3} - 170\,(1 - R) \right].$$

Reemplazando este valor de K en la expresión (1), se obtiene:

$$P_0 = \frac{(\rho D + A)\,C}{\frac{Z}{1 - R} \left[\frac{t_0 - R\,t_1}{3} - 170\,(1 - R) \right]};$$

$$(6)\ P_0 = \frac{3\,(\rho D + A)\,C\,(1 - R)}{Z\,[t_0 - R\,t_1 - 510\,(1 - R)]};$$

fórmula que da el peso de agua que debe llevar la locomotora, en las condiciones establecidas: cuya fórmula es la general de la que son casos particulares las marcadas con los números (20) y (21) en los cálculos del Sr. Piarron de Mondésir.

Este valor de P_0 está expresado en función de las temperaturas y presiones extremas; porque desconociéndose la forma de la función que liga la tensión á su correspondiente temperatura, no se puede eliminar una de ellas, y es preciso, en el estado actual de la Termodinámica, recurrir en cada caso á los resultados que se ha obtenido empíricamente por efecto de numerosas experiencias.

Evidentemente la velocidad de la marcha está subordinada á la resistencia que haya que vencer y á la potencia de evaporación de la locomotora.

Tratando esta cuestión en toda su generalidad, se llega á una complicada ecuación diferencial que no se sabe integrar, y es inútil, por lo tanto, plantearla. Pero se puede hallar una relación que satisfaga á las necesidades de la práctica, de la manera siguiente:

Designando, como antes por e el coeficiente de rodadura sobre carriles y por C el peso total del tren, y llamando

R el radio de la rueda motriz;

l la excentricidad del árbol motor, que es igual á una escursión sencilla de un émbolo.

S la sección de un émbolo;

m la presión á que actúa sobre él vapor;

t su temperatura;

y α un coeficiente que se refiere á las resistencias pasivas del mecanismo, y á las condensaciones inevitables del vapor; el trabajo que hay que vencer para una vuelta de la rueda motriz es:

$$2\pi R \times e C;$$

y el que desarrolla un émbolo es:

$$2 l S m \times \alpha;$$

de donde resulta la ecuación:

$$2 \pi R e C = 4 \alpha l S m,$$

ó sea:

$$(7) \; \pi R e C = 2 \alpha l S m,$$

para lo cual se gastará un peso de vapor

$$(8) \; p = 4 S l \times X,$$

siendo X el peso específico del vapor á la presión m.

Según las leyes de Mariot y Gay-Lussac, resulta, designado por V el volumen del vapor gastado:

$$m V = 46{,}9 \, (273 + t) \, X \; (^a);$$

pero el volumen V es muy aproximadamente igual al cociente que se obtiene dividiendo el volumen específico á la presión de una atmósfera por la presión m. Este volumen específico es, según Zeuner, 1.^{m},646; luego:

$$1{,}646 = 46{,}9 \, (273 + t) \, X.$$

Reemplazando X en la ecuación (8) por su valor obtenido de ésta, resulta para la cantidad de vapor gastado en una vuelta de la rueda motriz:

$$(9) \; p = 4 S l \times \frac{1{,}646}{46{,}9 \, (273 + t)} = 0{,}14 \frac{S l}{273 + t}.$$

Si v es la velocidad del tren, expresada en metros por minuto, claro es que la rueda dará en este tiempo un número de vueltas expresado por

$$(10) \; n = \frac{v}{2 \pi R} = 0{,}159 \frac{v}{R}.$$

Ahora bien; si en una vuelta de la rueda se gasta una can-

[a] Callon.—Cours de machines, tomo 1.°, n.° 499.

tidad de vapor igual á $0,14 \frac{S\,l}{273+t}$, según la ecuación (9), en n vueltas, ó sea en un minuto, se gastará un peso

$$p' = 0,14 \frac{S\,l}{273+t} \times 0,159 \frac{v}{R} = 0,0223 \frac{S\,l}{(273+t)\,R}\,v;$$

que se puede escribir:

$$(11)\; p' = 0,0223 \frac{S\,l}{R} \times \frac{v}{273+t}.$$

El coeficiente $0,0223 \frac{S\,l}{R}$, es constante, puesto que la sección del émbolo, la excentricidad del árbol motor y el radio de la rueda son fijos para cada máquina.

Se tiene así, por lo tanto, una relación que da el peso p' de vapor que hay que gastar por minuto, para obtener la velocidad de v metros, conociendo la temperatnra t, ó lo que es lo mismo, la presión m á que actúa el vapor.

Recíprocamente, por medio de la misma fórmula se puede deducir la velocidad que podrá alcanzar la máquina, dada la producción p' de vapor por minuto, despejando v, lo que dá:

$$(12)\; v = \frac{R}{0,0223\,S\,l} \times p'\,(273+t)$$

En estos cálculos se ha supuesto que el trabajo de la máquina se verifica todo el tiempo á plena admisión, y sin expansión alguna. Como realmente esto no ocurre, hay que considerar el caso práctico, y bastará para esto sustituir en vez de l en las fórmulas anteriores, la fracción de la excursión del émbolo que corresponde á la plena admisión; luego si se designa por c este coeficiente, las dos fórmulas (11) y (12) se convertirán en:

$$(13)\; P = 0,0223 \frac{S\,c\,l}{R} \times \frac{v}{273+t};$$

$$(14)\; v = \frac{R}{0{,}0223\, S\, c\, l} \times (273 + t)\, P;$$

siendo P el nuevo peso de vapor que se gastará por minuto.

El coeficiente c es esencialmente variable, según la resistencia que se haya de vencer; pero desde luego, marchando en horizontal y en recta es constante; porque á igualdad de resistencia, se establece un régimen determinado y más conveniente entre la plena admisión y la expansión; pero si, por efecto de un aumento de resistencia debido á una curva ó una rampa, ó por disminución á consecuencia de una pendiente no fuera aceptable el régimen establecido, claro es que variaría c, puesto que sería distinto el peso de vapor admitido en cada embolada.

De manera que, mientras la resistencia no varíe, c es constante, y las fórmulas (13) y (14) serán aplicables en cada punto del perfil de la línea, teniendo en cuenta las alteraciones de c, según el punto de ella que se considere.

Cuando la resistencia á la rodadura sea igual á la componente debida á la gravedad; es decir, cuando la inclinación de la pendiente sea la necesaria para el equilibrio estricto, c es igual á cero; y entonces el peso P de vapor que hay que gastar es nulo.

Si la inclinación de la pendiente es mayor, c será negativo y también lo será el valor que se obtenga para P. Claro es que no tiene sentido práctico un gasto negativo de vapor; pero esto significa que no solamente el gasto es nulo, sino que es preciso apretar los frenos.

En la fórmula (7) que da la expresión del trabajo mecánico, también se ha supuesto que no existe expansión; pero basta para tenerla en cuenta, introducir el coeficiente c, con lo que se obtendrá el trabajo correspondiente á la plena admisión. El que corresponde á la expansión se obtendrá por el procedimiento conocido de Termodinámica.

No me detendré en hacer este cálculo, en discutir la fórmula resultante, ni en determinar la derivada que expresa el mínimo de gasto de vapor en función de la expansión, para un régimen determinado, porque sería completamente extraño al objeto de este pequeño apéndice, y nada nuevo diría respecto á las ventajas de la locomotora sin hogar. Mi objeto, en los sencillos cálculos que anteceden, ha sido solamente dar una idea de la manera de operar en la determinación de las dimensiones del recipiente de una máquina de esta clase.

El Sr. Piarrón de Mondésir, en su trabajo, se ha propuesto solamente dar una idea del cálculo de las locomotoras sin hogar, y de ninguna manera ha sido su objeto desarrollar la teoría completa en toda su generalidad, lo que conduce á ecuaciones muy complicadas, y á cuestiones actualmente insolubles por la teoría, á causa de las deficiencias del Cálculo integral. Júzguese, por lo tanto, el fundamento con que he debido limitarme á hacer ligeras indicaciones.

En las locomotoras construídas hasta la fecha, la potencia de vaporización permite, sin dificultad alguna, obtener una velocidad normal de 20 kilómetros por hora; suficiente para ferrocarriles económicos y tranvías inter-urbanos, y excesiva para los que circulan por dentro de las poblaciones.

Se ve, por consiguiente, que bajo el punto de vista de la velocidad, es perfectamente aceptable este medio de tracción, en los casos en que está indicado y se aplica; y como la locomotora, en conjunto y en detalles, cumple además perfectamente con todas las exigencias de la práctica, y realiza la importantísima ventaja que reporta una gran economía, respecto á los otros medios de tracción, es indiscutible hoy día, para cuantos conocen esta máquina, la superioridad que tiene y las ventajas importantes que de su adopción han de obtener las compañías constituidas para esta clase de trasportes.

Entre las numerosas líneas en que se hace la tracción por

máquinas sin hogar, citaré como más conocidas las siguientes: el ferrocarril de Rueil-Marly; el tranvía de París á Sain-Germain; el de Lille á Roubaix y Tourcoing; el de Batavia á Kramat y Meester Cornelis; el de París (Étoile) á Courbevoie; el de Lyon á Saint-Fous y Venissieux; el de Lyon á Oullins; el de Lyon á Brou y de Lyon á Cimetiére; el canal del Este y de Bourgogne.

Tengo á la vista las memorias presentadas en diversas épocas por los gerentes de la mayor parte de las compañías que cito; y los estudios comparativos entre este sistema y los que anteriormente empleaban, consignados en ellas, hacen ver que la superioridad resulta tanto bajo el punto de vista financiero como bajo el técnico.

Creo inútil, por consiguiente, insistir más acerca de esta cuestión; porque la evidencia se impone hasta tal punto, que me atrevo á asegurar la adopción, en breve plazo, de las locomotoras sin hogar, por nuestras empresas de tranvías y ferrocarriles económicos: bastará para esto, que lean atentamente el adjunto folleto del Sr. Francq, y comprueben (lo que es muy fácil), los excelentes resultados y grandes economías que acusa la práctica, por cuya comprobación he adquirido el íntimo convencimiento de que es irremplazable para tales líneas la tracción por locomotoras sin hogar.

Madrid, 27 de Junio de 1892.

Cárlos Alfonso,
Ingeniero de Caminos.

INDICE

Páginas.